

Grado en Ingeniería de Sistemas de Comunicaciones
2017-2018

Trabajo Fin de Grado

Diseño de una red de agregación de radioenlaces punto a punto para el Servicio Fijo de banda ancha

Sergio García García

Tutor

Carlos Bousoño Calzón

Leganés, 1 de marzo de 2018

RESUMEN

El presente proyecto responde a la demanda de un cliente que desea dar cobertura a ciertas zonas blancas NGA (New Generation Access) a lo largo del arco Mediterraneo. Su objetivo es establecer una red de agregación que cubra los municipios de Benigànim, Quatretonda y Llutxent, todos ellos localizados en región de La Vall d'Albaida (Valencia).

En particular, se realiza el estudio previo a la instalación de la red de agregación que agrupará el tráfico generado por los usuarios situados en los municipios anteriormente mencionados y lo transportará al backbone de la red a fin de proporcionarles acceso a redes de alta velocidad. Para ello se diseña una red de radioenlaces, ya que son la tecnología que mejor se adapta al escenario que envuelve al sistema, teniendo en cuenta la geografía de los emplazamientos, los requisitos proporcionados por el cliente, aspectos económicos y calidad de servicio.

Todos los radioenlaces se han diseñado de manera que cumplan con la normativa vigente en materia de telecomunicaciones y con los requisitos de calidad y capacidad demandados por el cliente. Además, se ha buscado minimizar los costes que supondrá la implementación del proyecto y reducir los tiempos de instalación.

Palabras clave:

Radioenlace – Punto a punto – Servicio Fijo – Radiocomunicación – Red de agregación – Diseño – Simulación – PathLoss – MINETAD – SESIAD – Canales de transmisión – Ceragon – RFS – Antenas – ODU – IDU – Radio – Diversidad – Polrización – XPIC – Frecuencia – MIMO – Banda de transmisión – Canal de transmisión – Canalización

EXTENDED SUMMARY

This project responds to a demand from a client, a small ISP, after having been granted one of the subsidies that is granted by the MINETAD (Ministry of Energy, Tourism, and Digital Agenda) with the objective of providing coverage to NGA white zones throughout the Spanish Mediterranean coast. Their aim is to establish a communication network that cover the Benigànim, Quatretonda, and Llutxent municipalities, which are all located in the region called La Vall d'Albaida (Valencia).

In this Project, the study is carried out prior to the installation of the aggregation network that will group together the traffic generated by the users situated in the previously mentioned municipalities and will transport it to the backbone of the network in order to provide them access to high speed networks.

Although there are several technologies that can be considered to establish these connections, fiber optic cables and radio links are, without a doubt, currently at the forefront of technology. Of these two options, given the present circumstances of how the aggregation network is being installed, the radio link is the best option in order to adapt to the requirements provided by the customer, taking into account important economic aspects, such as the quality of service.

Although the equipment for radio links includes advanced technology that comes with elevated prices in comparison to equipment for fiber optic cables, they have a low cost of installation, absence from costly public work jobs for the channeling of the fiber, qualified personal, and specific machinery to fuse the fiber cables over long distances, as long as the desired capacity does not exceed 2Gbps, the unguided option offers the same results at a much lower price. In addition, contrary to what occurs with installation of the fiber optic cable, the cost for the installation of the radio links will never see an increase due to a larger length span, unless it occurs where large sized antennas are required (normally 6ft in diameter or larger), which need specialized machinery in order to raise the antenna to the top of the tower. In contrast, the capacity of radio links, once different diversity techniques have been applied, does not exceed 2Gbps. In addition, the availability of radio links, unlike fiber optic cables, which offer total availability except for breakage, depends on environmental conditions. Although

there are adaptive modulation techniques that prevent a system crash, the ability of these may be compromised.

The radio link interconnects telecommunication equipment by propagating electromagnetic waves through free space. This equipment transmits the waves to a specific frequency of the electromagnetic spectrum. Therefore, the electromagnetic spectrum can be defined as a natural resource and considered a public good that requires a regulatory body to organize and control access to it in the best possible way so that it can be used by as many parties as possible, without interferences existing between them.

At an international level, the organizations in charge of spectrum regulation are the ITU-R (International Telecommunications Union – Radiocommunications Sector) and the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). The ITU-R, in addition to establishing agreements at an international level, divides the world into three regions with different frequency plans. Spain is encompassed into region 1, along with the rest of Europe and Africa. Within this región, in Europe the ETSI (European Telecommunications Standards Institute) and the CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) regulate the spectrum, respecting the international agreements reached by the ITU-R and the IEEE. For the Fixed Service, the ETSI establishes the transmission bands and their channeling, however, the attribution of each channel and its conditions of use, is decided by each country. In Spain, this work is carried out by SESIAD (Secretaría del Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital). Through the BOE (Boletín Oficial del Estado), the SESIAD publishes the National Chart of Frequency Attribution (CNAF), which reflects the allocation to each service and its corresponding frequencies.

In the case of the Fixed Service, the SESIAD publishes the document entitled "Bands and channels available for the Broadband Fixed Service", which summarizes all the bands available for this service and indicates the frequencies (channels) and channeling enabled in each of them.

The planning that must be implemented at the time of installation for a network with similar characteristics is as follows:

First, an analysis of the network to be installed must be carried out. The necessary information about the locations must be obtained (i.e. geographical coordinates, type of infrastructure to be presented, and amount of traffic to be added) and the capacity and quality requirements needed must be defined.

Next, the design of radio links must be created. This process consists of the selection of the carrier's modulation and bandwidth that meets the capacity and transmission frequency requirements in accordance with the quality requirements. It must also consist in the selection for the installation type though determining the type of configuration that the equipment presents and the height of the antennas in the towers, as well as selecting the appropriate equipment. It is important to note in this step that both the bands and the channels that are selected, and the equipment chosen, must be in accordance with the regulatory legal framework in the field of radiocommunications. In addition, it is very common that the capacity initially sought in each radio link increases, therefore, it is advisable to design these with some slack in order to reduce costs in future extensions.

Once the design of the radio links has been completed, it is very important to verify in a theoretical way that these will comply with the quality parameters sought, where the availability of the radio link for a given BER and the Fade Margin (difference between the average power of reception and the sensitivity of the receiving equipment) stand out. To carry out these calculations, it is advisable to use a radio-link design tool. The more complex tools such as PathLoss and IQLink perform power balances, introducing the losses caused by the main destructive agents that affect radio links. Examples of these destructive agents are rainfall and other hydrometeors, multipath propagations caused by reflections and refractions in electromagnetic waves, diffraction in obstacles, the spatial attenuation of waves, and absorptions by gases found in the troposphere such as oxygen (O_2) and water vapor (H_2O). The value of all these losses and the availability that allow for the radio-links are made according to the recommendations published by the ITU-R. In addition, these tools have orographic maps which the radio links will be installed, considering the curvature of the earth's crust by applying a demonstrational ground model. In this manner, it is relatively simple to select a suitable antenna height so that the line of sight and in the first Fresnel zone are completely clear and unobstructed. It is also possible to upload files with the technical data of the modems, radios and antennas in this equipment to be

able to particularize the simulation to specific equipment and obtain a result closer to the reality. In addition to performing theoretical calculations with the help of a simulation tool, it is advisable to check the appropriate position for the direct line of sight between antennas and avoid any natural or artificial obstacles that are not reflected in the maps such as trees, cranes, buildings, or bird nests that will interfere with the radio links.

In the event that the simulation results are in breach with the minimum quality requirements, it is necessary to carry out a redesign of the radio link. Otherwise, the radio links can be legalized. Once legalized, a project must be executed that includes the main geographical data for the radio link emplacements, the transmission characteristics of the radio links including the channels that are intended to be used, the main technical specifications of the equipment and antennas used, and the calculations of the radio links that justify the correct operation of these. This project must be signed by a competent and qualified engineer and sent to SESIAD for review. In the case that the channels we intend to use are already being used by another nearby station or if the transmission parameters do not comply with the regulations in force regarding radiocommunications, the SESIAD will inform upon this requesting the modification of the affected parameters. Otherwise, they will give the green light to the project so that payment of the corresponding fees and the installation of the radio links can be made within a period of 90 days.

With the approval of the project by the Ministry, the equipment, antennas, and accessories can be purchased. It is very important to purchase equipment and antennas whose transmission characteristics conform to those intended to be used. For example, the working bandwidths for these will include the transmission frequency, the compatibility between equipment, antennas and accessories, etc. If there is not stock of this equipment, the manufacturing times can be very high, being able to reach two months. It is important to make a good logistical plan in order to avoid increasing the total time spent on the installation, taking into account the amount of time allocated to transportation and installation.

Finally, once the equipment is obtained, the installation of these can proceed. In addition, the installation must be certified by the competent technician in charge of the installation.

The aggregation network that is intended to be installed with this current project is made up of four radio links with very different characteristics. Three of them, which make up the first network aggregation network, will add traffic generated by the end-users located in the Quatretonda, Benigànim, and Llutxent municipalities, and then transport the traffic to the site known as Benissuera. The other radio link, which forms the second aggregation network, will transport all the traffic from this point and connect it to the backbone at another site named Torratèr.

The capacity that a radio link can offer is limited by the modulation and bandwidth used. For the two radio links with the capacity for 300Mbps, the selected profiles have been 128QAM@56MHz and 128QAM@55MHz depending of the channeling and bandwidth offered by the band. For the other two radio links, whose capacities exceed 500Mbps, the use of diversity techniques has been necessary, particularly polarization diversity. Thus, the 900Mbps capacity uses the profile 1024HQAM@56MHz and the 1.2Gbps capacity radio link uses a profile of 1024QAM@80MHz. Polarization diversity techniques allow transmission in both vertical and horizontal polarization on the same frequency by using an OMT (orthomode transducer), which connects to both signals. In addition, it allows a 50% saving in the annual fee for the acquisition of ownership for the right to use the bandwidth in the second polarization.

The bands used have been selected seeking mainly three sets of criteria: total availability of the radio link greater than 99.99% with a fade margin greater than 20dB for configurations 1+0 and higher than 15dB for configurations 2+0 (lower bands achieve greater range, and therefore a greater availability and fade margin), a reduction in the annual cost by obtaining the ownership for the rights to use the bands (the bands are grouped into groups of adjacent bands where the groups with the higher bands are more economical than the lower bands), and that the selected band allows the bandwidth required by the radio link (the bands available for point-to-point radio links for the Broadband Fixed Service, and the bandwidths and channels they allow are compiled in the SESIAD publication entitled "Bands and channels available in the Broadband Fixed Service"). Thus, the two radio links working on the spans of 4.95Km and 3.97Km will use channels in the 26GHz band, the radio link for 11.09Km uses the 18GHz band, and the radio link for 14.63Km will use the 6.4-7.1GHz band.

Since the channel request is made blindly by the applicant, it will be requested among the authorized channels in each band, using the lowest because, as already mentioned above, the carriers with lower frequencies attain a greater reach. In addition, to avoid adjacent channel interference at sites where two or more channels are needed from the same band, an empty channel will be left in the middle. Finally, it must be decided which of the two sites that make up the radio link will work on the high semiband and which will work on the low semiband. As to avoid interferences between nearby equipment, all localized equipment that work in the same band must transmit in the same semiband (high or low), the transmissive semiband has been identified for each site in the affected bands with the IdeSemiband application.

As a method of protection against breakdowns, for the three radio links that make up the first aggregation network, SLA (Service Level Agreement) contracts will be made that include a NBD (Next Business Day) replacement clause that will guarantee replacement equipment on the next working day in the case of a breakdown. For the radio link forming the second aggregation network, through which the traffic of all the users in the network will flow, backup equipment will be purchased in order to replace equipment immediately in the happenstance that a breakdown occurs, preventing a massive network drop during an extended period of time.

The equipment chosen for the installation of these radio links are the ODUs Full-Outdoor, from the Israeli manufacturer Ceragon (FibeAir Family). These include the IP20-S, for radio links where no diversity polarization techniques are applied, and the IP20-C, where these techniques are applied. IP20-C device is dual core ODU, meaning two radios are included in the same case, facilitating the application of these techniques. The chosen antennas are from the compactLine and CompactLine Easy families of the German manufacturer RFS. These high-quality antennas have a specific interface that allows for a direct mount to Ceragon's equipment. The installation and configuration of this equipment has been contracted to the Sevillian company Codipro.

It is estimated that the network will be fully installed and functioning in eight weeks, considering the maximum manufacturing time for the equipment of six weeks, where the equipment is with Ceragon, the week of transport, and the week of installation. The initial investment, which includes the purchase of equipment, antennas, and accessories, and the legalization and installation of the network, will cost 50,799.45 Euros (VAT

included). In addition, annually, the renewal of the SLA contracts, the rent for the space in the towers, and the payment of the fees to the ministry for the ownership of the rights to use the frequencies, will amount to 24,625.70 Euros (VAT included).

With the installation of these four radio links, the 11,000 inhabitants, according to the official INE data, that are located in the towns of Quatretonda, Benigànim and Llutxet will have Access to broadband networks. This will favor the growth of companies that are in these municipalities and promote the creation for new business in the region, helping these localities to grow economically and improve the quality of life for their inhabitants.

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. MOTIVACIÓN	2
1.3. PROPUESTA TÉCNICA	3
2- MARCO LEGAL	6
2.1. ENTIDADES REGULADORAS	6
2.2. NOTAS DE USO	9
2.2.1. BANDA E	14
2.3. PLANES DE FRECUENCIA	16
2.4. TRAMITACIÓN	16
2.4.1. CÁLCULO DE LA TASA ANUAL POR LA ADQUISICIÓN DE LA TITULARIDAD DE LOS DERECHOS DE USO DE UN CANAL	19
2.5. BANDA LIBRE	20
3- PLANIFICACIÓN	22
4- DESCRIPCIÓN DE LA RED	24
4.1. DISEÑO DE LA RED	25
4.1.1. TOPOLOGÍA DE LA RED	25
4.1.2. REQUISITOS DE CALIDAD	26
4.1.3. REQUISITOS DE CAPACIDAD	27
4.1.4. ESQUEMA DE LA RED	27
4.2. DATOS DE LOS EMPLAZAMIENTOS	28
4.2.1. PLANOS TOPOGRÁFICOS	28
4.2.2. TORRATER	31
4.2.3. BENISSUERA	33
4.2.4. BENIGNÀNIM PAS FORCALL	35
4.2.5. QUATRETONDA	37
4.2.6. LLUTXENT	39
5- DISEÑO DE RADIOENLACES	41
5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RADIOENLACES	41
5.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE RADIOENLACES	43
5.3. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN	44
5.3.1. TÉCNICAS DE DIVERSIDAD	44
5.3.2. PROTECCIÓN FRENTE A AVERÍAS	45
5.4. SELECCIÓN DE CANALIZACIÓN Y MODULACIÓN	46
5.5. SELECCIÓN DE PORTADORAS	46
5.5.1. SELECCIÓN DE LA BANDA DE TRANSMISIÓN.	46
5.5.2. IDENTIFICACIÓN DE SEMIBANDA	47

5.5.3.	SELECCIÓN DEL CANAL DE TRANSMISIÓN	50
5.5.4.	ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DE LA RED	50
5.6.	EQUIPOS E INSTALACIONES	51
5.6.1.	DATOS TÉCNICOS DE LAS ODUS	53
5.6.2.	DATOS TÉCNICOS DE LAS ANTENAS	57
5.6.3.	MONTAJES	58
5.7.	FORMULARIOS SOLICITUD SERVICIO FIJO	60
5.8.	CÁLCULO RADIOELÉCTRICO	63
5.8.1.	MAPA OROGRÁFICO	64
5.8.2.	RADIOENLACE BENISSUERA – BENIGNÀNIM PAS FORCALL	65
5.8.3.	RADIOENLACE BENIGNÀNIM PAS FORCALL – QUATRETONDA	67
5.8.4.	RADIOENLACE BENISSUERA – LLUTXENT	69
5.8.5.	RADIOENLACE TORRATER – BENISSUERA	71
6-	PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA	74
7-	PRESUPUESTO	76
7.1.	CAPEX	76
7.2.	OPEX	76
7.3.	DESGLOSE DE PRECIOS	77
8-	CONCLUSIONES	85
8.1.	RESULTADOS TÉCNICOS	85
8.2.	REPORTE DE SOLICITUD	86
8.3.	IMPACTO SOCIAL	89
8.4.	PROSPECTIVA DE LOS RADIOENLACES	89

ANEXO I: COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

9-	COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS	91
9.1.	INGENIERÍA	91
9.2.	INSTALACIÓN	92
9.3.	CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS	92
9.4.	DISPONIBILIDAD	93
9.5.	CAPACIDAD	93
9.6.	SEGURIDAD	94
9.7.	COSTES	94

ANEXO II: IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

10- IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	96
10.1. IMPACTO EN LA SALUD	96
10.2. IMPACTO VISUAL	97

ANEXO III: CRONOLOGÍA DE LOS RADIOENLACES

11- CRONOLOGÍA	99
-----------------------	-----------

ANEXO IV: EQUIPOS E INSTALACIONES

12- EQUIPOS	102
12.1. IDU (IN-DOOR UNIT)	102
12.2. ODU (OUT-DOOR UNIT)	103
12.2.1. ODU FULL-OUTDOOR	103
12.2.2. ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE	104
12.3. ANTENAS	105
12.3.1. COMPONENTES DE LAS ANTENAS	105
12.3.2. PARÁMETROS DE LAS ANTENAS	107
12.4. OMT (ORTHOMODE TRANSDUCER)	109
12.5. SPLITTER	109
12.6. COUPLER	110
12.7. POE (POWER OVER ETHERNET)	111
12.8. TRANSCEIVER ÓPTICO SFP	112
12.8.1. TRANSCEIVERS SFP BIDI	114
12.8.2. TRANSCEIVERS CSFP	114
12.9. GUIAONDAS	115
13- TOPOLOGÍAS DE INSTALACIÓN	117
13.1. FULL-INDOOR	117
13.2. SPLIT-MOUNT	118
13.3. FULL-OUTDOOR	119
14- GESTIÓN DE EQUIPOS	120
15- PREVENCIÓN FRENTE AVERÍAS	121

ANEXO V: PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN

16- CANAL DE TRANSMISIÓN	124
16.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BANDAS.	124
16.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CANALES	126
17- POLARIZACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	128
17.1. TIPOS DE POLARIZACIÓN	128
17.2. ESTUDIO DE LAS POLARIZACIONES	130
17.3. COMPONENTES POLAR Y COPOLAR	131
18- MODULACIONES	132
18.1. MODULACIONES DIGITALES BÁSICAS	133
18.2. MODULACIONES PSK	134
18.3. MODULACIONES QAM	135
18.4. MODULACIÓN ADAPTATIVA	136
18.4.1. ALGORITMO FULL-RANGE DYNAMIC ACM	137

ANEXO VI: CÁLCULO DE RADIOENLACES

19- CÁLCULO DE RADIOENLACES	140
19.1. MÉTODOS DE CÁLCULO DE RADIOENLACES	140
19.1.1. BALANCE DE POTENCIAS	140
19.1.2. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN	141
19.2. PARÁMETROS DE CALIDAD	142
19.2.1. BER (BIT ERROR RATIO)	143
19.2.2. DISPONIBILIDAD DEL RADIOENLACE	143
19.2.3. FADE MARGIN (FM)	144
19.2.4. MSE (MEAN SQUARED ERROR)	145
20- PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS	146
20.1. DIFRACCIÓN	146
20.2. TIPOS DE ESCENARIOS	147
20.2.1. ZONAS DE FRESNEL	147
20.2.2. LINE OF SIGHT (LOS)	149
20.2.3. NEAR LINE OF SIGHT (NLOS)	149
20.2.4. NON LIGHT OF SIGHT (NLOS)	150
20.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS	150
20.3.1. OBSTÁCULO GENÉRICO	150
20.3.2. OBSTÁCULO ÚNICO EN ARISTA EN FILO DE CUCHILLO	151

20.3.3.	OBSTÁCULO ÚNICO EN FORMA REDONDEADA	154
20.4.	ALTURA DE LAS ANTENAS	155
20.5.	MODELO DE TIERRA FICTICIA	157
20.5.1.	CÁLCULO DEL RADIO FICTICIO DE LA TIERRA	157
20.5.2.	MÉTODO FLECHA	159
20.5.3.	TIPOS DE TROPOSFERA	160
21-	PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO	161
21.1.	ÍNDICE DE REFRACCIÓN	162
21.1.1.	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN LA TROPOSFERA	163
21.1.2.	VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON LA ALTURA	164
21.1.3.	VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN CON LA FRECUENCIA	165
21.1.4.	VALORES DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN MEDIOS TIPO	166
21.2.	REFLEXIÓN	167
21.2.1.	TIPOS DE REFLEXIÓN	167
21.2.2.	CÁLCULO DEL PUNTO DE REFLEXIÓN	168
21.2.3.	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN	169
21.3.	REFRACCIÓN	170
21.4.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO	171
21.5.	MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO	172
21.6.	BENEFICIOS DE LA PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO	174
22-	ATENUACIÓN POR HIDROMETEOROS	175
22.1.	CÁLCULO DE LA INDISPONIBILIDAD POR LLUVIA	175
22.1.1.	CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN ESPECÍFICA	176
22.1.2.	CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES	176
22.1.3.	CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE LLUVIA	179
22.1.4.	CÁLCULO DE LA DISTANCIA EFECTIVA	181
22.2.	CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR LLUVIA	182
23-	PÉRDIDAS EN ESPACIO LIBRE	183
23.1.	ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DE GASES	183
23.1.1.	CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DE GASES	183
23.2.	ATENUACIÓN ESPACIAL DE ONDAS	186
24-	ATENUACIÓN POR VEGETACIÓN	188
24.1.	CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR VEGETACIÓN	188
25-	INTERFERENCIAS	190
25.1.	TIPOS DE INTERFERENCIAS SEGÚN SUS EFECTOS	190
25.2.	INTERFERENCIAS DESTRUCTIVAS	191
25.3.	CÁLCULO DE INTERFERENCIAS	191

ANEXO VII: TÉCNICAS DE DIVERSIDAD

26- TÉCNICAS DE DIVERSIDAD	194
27- DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN	195
27.1. CANCELADOR DE INTERFERENCIAS DE POLARIZACIÓN CRUZADA (XPIC)	195
27.2. EQUIPOS NECESARIOS	196
27.3. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN	197
27.4. INTENTO DE TRANSMISIÓN EN TRIPLE POLARIDAD	198
28- DIVERSIDAD DE FRECUENCIA	200
28.1. EQUIPOS NECESARIOS	200
28.2. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN	201
28.3. DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN Y EN FRECUENCIA	201
29- DIVERSIDAD ESPACIAL	202
29.1. SIMO (SINGLE INPUT AND MULTIPLE OUTPUT)	203
29.1.1. TÉCNICAS DE REDUNDANCIA	203
29.2. MISO (MULTIPLE INPUT AND SINGLE OUTPUT)	205
29.2.1. CÓDIGOS STC (SPACE –TIME CODING)	205
29.3. MIMO (MULTIPLE INPUT AND MULTIPLE OUTPUT)	206
29.3.1. FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA MIMO (2X2)	206
29.3.2. DISTANCIA ENTRE ANTENAS EN UN SISTEMA MIMO (2X2)	207
29.3.3. SISTEMAS MIMO EN RADIOENLACES PUNTO A PUNTO	209
29.3.4. SISTEMAS MIMO (4X4)	210

ANEXO VIII: DOCUMENTACIÓN

30- DATASHEETS DE LAS ODUS	212
31- DATASHEET DE LAS ANTENAS	225
32- DOCUMENTOS PARA LA LEGALIZACIÓN	241

ANEXO IX: GLOSARIO, ÍNDICES Y BIBLIOGRAFÍA

33- GLOSARIO	267
---------------------	------------

<u>34-</u>	<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	<u>271</u>
<u>35-</u>	<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	<u>283</u>
<u>36-</u>	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>285</u>

1- INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

Se define como radioenlace toda aquella interconexión entre diferentes equipos de telecomunicaciones mediante la propagación de ondas electromagnéticas por el espacio libre.

El presente documento está centrado en el diseño de radioenlaces punto a punto para el Servicio Fijo de banda ancha, cuya regulación en España recae sobre la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital (SESIAD), dependiente del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (MINETAD).

1.1. INTRODUCCIÓN

Debido al gran auge de las telecomunicaciones, cada vez son más las empresas, entidades públicas y particulares que solicitan acceso a redes de banda ancha para satisfacer sus necesidades de negocio o lúdicas hasta en los lugares más rurales y remotos.

Con este escenario, los proveedores de servicios de internet (ISP) buscan maneras rápidas, económicas y fiables de ofrecer conexión a internet a los usuarios que se encuentran más alejados de las grandes urbes.

De entre todas las tecnologías que permiten la conexión entre dos emplazamientos destacan la fibra óptica y los radioenlaces [Anexo 1, capítulo 9]. Sin embargo, estos últimos, debido al bajo coste, largo alcance y a la instalación sencilla y económica que presentan, se han convertido en la solución ideal para la mayoría de operadoras móviles e ISP para estos escenarios. De esta forma, estos son capaces, en muchas ocasiones con un único radioenlace, de conectar las redes de acceso que dan cobertura a poblaciones alejadas de las grandes redes troncales con el backbone, evitando así los elevados costes que supone el despliegue de una red de fibra óptica con una canalización de varios kilómetros.

Sin embargo, hay otros escenarios en los que es frecuente encontrar radioenlaces. Entre estos, destacan las empresas que quieren establecer una comunicación entre sedes, el ejército cuando quiere establecer una comunicación temporal entre dos puntos con la

protección adicional de que no puede ser eliminada con un corte de fibra y como conexión de backup entre dos puntos para evitar caídas del sistema por el corte de una fibra.

Además, otro motivo por el cual los radioenlaces son una de las tecnologías más empleadas, es que estos pueden considerarse una tecnología respetuosa con el medio ambiente [Anexo 2, capítulo 10], ya que las frecuencias a las que trabajan son totalmente inocuas para los seres vivos del planeta y las infraestructuras y equipos que requieren pueden ser camufladas en el medio de forma que no rompan con la estética del paisaje en el que se encuentran.

El gran auge que presentan los radioenlaces desde sus inicios queda demostrado en su constante evolución [Anexo 3, capítulo 11] que los ha llevado en apenas 100 años a conseguir capacidades de hasta 1.2Gbps gracias al uso de modulaciones 2048QAM sobre anchos de banda de 80MHz y a la aplicación de las diferentes técnicas de diversidad que consiguen multiplicar hasta por cuatro estas capacidades. Además, los equipos empleados han evolucionado en compactas mochilas de apenas 6 kilos que pueden colocarse directamente sobre las antenas y transmiten a potencias de hasta 30dBm.

1.2. MOTIVACIÓN

El presente proyecto es una propuesta técnica que responde a la demanda de un cliente, una pequeña ISP que ha recibido una de las subvenciones que el MINETAD está concediendo con el objetivo de dar cobertura a zonas blancas NGA a lo largo del arco Mediterráneo.

Estas zonas son descritas por el Ministerio como *“aquellas zonas en las que no se dispone de cobertura de acceso a redes de banda ancha de nueva generación y que además no tienen previsión de dotación por parte de ningún operador en un plazo de tres años, según los planes de inversión creíbles”*.

Este proyecto pretende documentar el despliegue de una red de agregación en la zona de La Vall d’Albaida (Valencia) que de acceso de banda ancha a los usuarios localizados en los municipios de Benigànim, Quatretonda y Llutxent.

1.3. PROPUESTA TÉCNICA

La red de agregación a instalar está compuesta por cuatro radioenlaces punto a punto del Servicio Fijo de banda ancha.

Estos cuatro radioenlaces agregarán el tráfico generado por los usuarios situados en tres municipios rurales del sur de Valencia y lo conectará con la red troncal. Por estos radioenlaces se transmitirán datos, video y audio a altas velocidades.

La propuesta técnica presentada en este proyecto:

- Describe el marco legal que envuelve al sistema. Para ello, indica los diferentes actores participantes y describe sus funciones, expone la normativa vigente en materia de radiocomunicaciones para el Servicio Fijo en el territorio español y explica los pasos burocráticos a seguir para la legalización del proyecto.
- Define los diferentes requisitos que deben cumplir los radioenlaces que componen la red, teniendo en cuenta las características de la red en propiedad ya instalada y las perspectivas de crecimiento de la nueva red. Entre los principales requisitos destacan la capacidad mínima requerida por cada uno de los radioenlaces y los requisitos de calidad que estos deben cumplir.
- Expone el diseño de la red indicando los diferentes emplazamientos y sus características tanto geográficas como administrativas, la cantidad de tráfico que agregan y el tipo de infraestructura que presentan.
- Diseña los radioenlaces que componen la red buscando el cumplimiento de la normativa vigente y de los requisitos de capacidad y de calidad impuestos por el cliente, tratando de reducir los costes de la operación. También se indican tanto los equipos requeridos como el tipo de instalación a realizar y se exponen los cálculos pertinentes realizados con la herramienta de diseño de radioenlaces PathLoss, que demuestran el cumplimiento de los requisitos de transmisión buscados.
- Elabora el presupuesto del proyecto y establece la operación logística que establecerá los tiempos de instalación.

Los principales objetivos que persigue la presente propuesta son:

- Estar en cumplimiento con la normativa vigente en materia de radiocomunicaciones.
- Cumplimiento de los requisitos de calidad y de capacidad impuestos por el cliente.
- Diseño de los radioenlaces acorde a la red en propiedad ya instalada del cliente.
- Selección de equipos y antenas de alta gama.
- Reducción de los costes de la implementación del proyecto.
- Minimizar los tiempos de la implementación del proyecto.

Este documento también viene acompañado de varios anexos que contienen diversos aspectos teóricos relacionados con los radioenlaces punto a punto del Servicio Fijo de banda ancha que, además de apoyar la propuesta técnica, aportan una visión general de forma que sirve como guía básica para los diseñadores de radioenlaces.

Además en el glosario, se indican todas las referencias a todas las entidades regulatorias del marco legal en materia de radiocomunicaciones y en la bibliografía pueden encontrarse diversos artículos que pueden resultar de interés tanto para profesionales de la materia como para aficionados en el tema.

PROPUESTA TÉCNICA

Zona NGA: La Vall d'Albaida

2- MARCO LEGAL

El espectro electromagnético es la distribución energética, en función de su frecuencia o longitud de onda, de las ondas electromagnéticas.

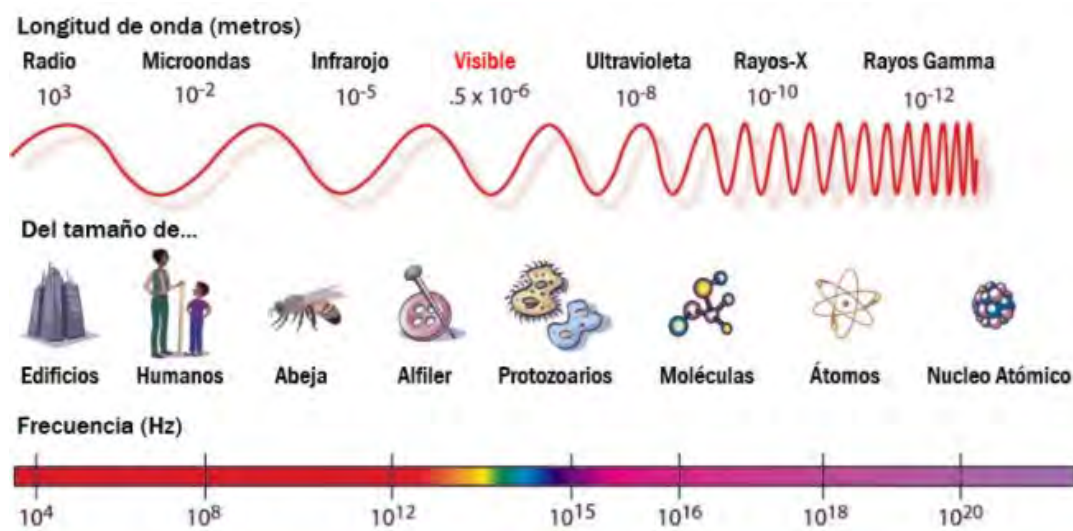


FIGURA 2.1: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) define las bandas de frecuencia como "*Las frecuencias del espectro electromagnético usadas para los servicios de difusión y servicios móviles, de policía, bomberos, radioastronomía, meteorología y fijos*".

2.1. ENTIDADES REGULADORAS

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado al que acuden multitud de dispositivos para establecer comunicaciones entre si.

Es por esto que está considerado un bien público y por lo tanto es necesario de un órgano regulador que organice y controle el acceso a este medio de la mejor forma posible para que pueda ser utilizado por el mayor número de equipos sin que haya interferencias entre ellos. En España, la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones, establece en el artículo 43 que "*el espectro radioeléctrico es un bien de dominio público, cuya titularidad, gestión, planificación, administración y control corresponden al Estado.*"

Son varias las organizaciones que se encargan de regular este recurso, entre las que destacan:

A nivel internacional:

- ITU-R (International Telecommunications Union - Radio communications sector)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

A nivel comunitario:

- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
- CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)
- ANSI (American National Standards Institute)

La ITU-R divide el mundo en tres regiones con diferentes planes para la armonización del espectro.

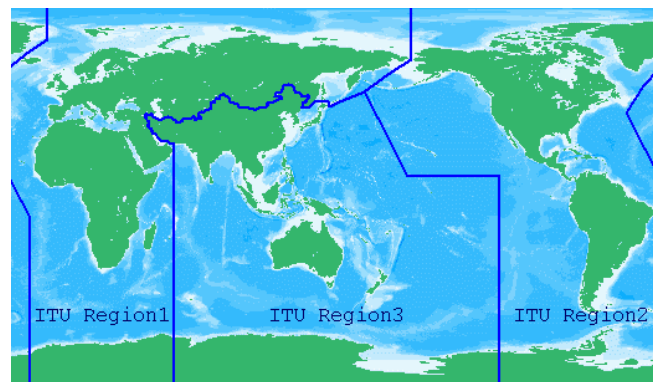


FIGURA 2.2: MAPA MUNDIAL CON DIVISIÓN DE REGIONES ITU.

España está englobada en la región 1 junto con el resto de Europa y África. Dentro de esta región, en Europa, el ETSI y la CEPT se encargan de la regularización y armonización del espectro, respetando siempre las normas de regularización impuestas por la ITU-R y el IEEE a nivel internacional. En el caso del Servicio Fijo de banda ancha, el ETSI se encarga de la asignación y definición de las diferentes bandas de frecuencias a dicho servicio e impone ciertas condiciones de uso a nivel comunitario, de manera que estas son comunes para toda Europa. Por ello, las bandas de trabajo de los equipos de radio deben adecuarse a las bandas y canalizaciones permitidas en cada

región, pudiendo un equipo fabricado para trabajar, por ejemplo, en Estados Unidos, no ser compatible con la normativa para el Sistema Fijo en España.

La asignación de frecuencias a los diferentes servicios se realiza teniendo en cuenta varios factores, entre los que destacan:

- **Factores técnicos:** Cada frecuencia responde de manera distinta a su propagación por el medio, distinto alcance, distinta disponibilidad... Es por esto que debe asignarse a cada servicio las frecuencias que mejor se adecúen a este.
- **Factores económicos:** La fabricación de filtros y equipos a determinadas frecuencias es más cara, además, las frecuencias más bajas requieren de antenas más grandes y por lo tanto más caras. Uno de los objetivos que se persiguen es la reducción de los costes de la fabricación de equipos y de la instalación de radioenlaces.
- **Factores de operatividad:** Muchos servicios operan a nivel internacional, como por ejemplo, los servicios marítimos y aéreos. La asignación de bandas de frecuencia a estos servicios debe realizarse a nivel internacional.

La disponibilidad de los canales de transmisión en las bandas de frecuencia y sus respectivas condiciones de uso recae sobre cada país. En España, esta función la realiza la SESIAD (Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital), que depende directamente del MINETAD (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital). Ésta, respetando los diferentes acuerdos alcanzados a nivel internacional y comunitario entre ITU-R, IEEE, ETSI y CEPT, publica en el BOE el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), en donde quedan definidas las distintas bandas de frecuencias para los diferentes servicios y sus especificaciones de uso. El CNAF se publicó por primera vez en 1990 y la vigente edición fue publicada el 16 de abril del 2015, en la orden IET/514/2015 de 10 de abril.

En el CNAF se distinguen tres tipos de inscripciones:

- **Atribución:** Inscripción en el cuadro para la asignación de una banda o bandas a un determinado servicio.

- **Adjudicación:** Inscripción en el cuadro para la asignación de un canal a un determinado servicio utilizado por una o varias administraciones en una o varias zonas geográficas.
- **Asignación:** Consiste en una autorización a una administración para el uso de un canal concreto bajo ciertas condiciones.

2.2. NOTAS DE USO

En el CNAF encontramos todas las bandas disponibles para los diferentes servicios. Las especificaciones de cada una de estas bandas, los canales y los anchos de banda disponibles quedan indicadas en las Notas de Uso.

Las Notas de Uso de las bandas destinadas para el Servicio Fijo quedan recogidas en la publicación de la SESIAD titulada “Bandas y canalizaciones para el Servicio Fijo de banda ancha” cuya última actualización es la versión 18, que fue publicada el 24 de Marzo de 2017.

A continuación se indican las bandas más utilizadas en el diseño de radioenlaces punto a punto para el Servicio Fijo y sus principales características:

5.9-6.4GHz (UN-57): Banda 6-Baja

- **Código de modalidad:** 2153 (más caro).
- **Longitud del vano:** Mayores de 20Km.
- **Anchos de banda:** 29.65MHz. Permite el uso de dos canales adyacentes.
- **Características:** Gran resistencia frente a hidrometeoros.
- **Recomendaciones de uso:** Es desaconsejable su uso ya que en la práctica suele sufrir de muchas interferencias debido a que muchos equipos que transmiten en la banda libre de 5Ghz, como los equipos Wi-Fi, suelen ocupar sus canales aunque no debieran.

6.4-7.1 GHz (UN-57): Banda 6-Alta

- **Código de modalidad:** 2153 (más caro).
- **Longitud del vano:** Mayores de 20Km.
- **Anchos de banda:** 30Mhz y 40MHz. Permite el uso de dos canales adyacentes.

- **Características:** Gran resistencia frente a hidrometeoros.
- **Recomendaciones de uso:** Al estar más alejada en el espectro de la banda de trabajo de los equipos en banda libre, está menos expuesta a interferencias con estos. Para radioenlaces de largas distancias es una de las mejores opciones, sin embargo hoy en día esta banda se está saturando, pudiendo ser complicado encontrar canales libres en algunas zonas.

7.4-7.7 GHz (UN-58): Banda de 7Ghz.

- **Código de modalidad:** 2153 (más caro).
- **Longitud del vano:** Mayores de 20Km.
- **Anchos de banda:** 28Mhz. Permite el uso de dos canales adyacentes.
- **Características:** Gran resistencia frente a hidrometeoros.
- **Restricciones por otros servicios:** Toda la banda tiene un uso preferente por parte del SFS en sentido descendente para el Ministerio de Defensa.
- **Recomendaciones de uso:** Al entrar en el mismo rango de precios que la banda 6-Alta y contar con características similares a esta pero con menor alcance y canalización y mayores restricciones, su uso es recomendable cuando debido a la saturación de la banda 6-Alta, esta no esté disponible.

7.7-8.3 GHz (UN-59): Banda de 8GHz.

- **Código de modalidad:** 2153 (más caro).
- **Longitud del vano:** Mayores de 20Km.
- **Anchos de banda:** 29.65Mhz. Permite el uso de dos canales adyacentes.
- **Características:** Gran resistencia frente a hidrometeoros.
- **Restricciones por otros servicios:** Uso preferente por parte del SFS en toda la banda para el Ministerio de Defensa. La semibanda inferior para las comunicaciones en sentido descendente y la semibanda superior en sentido ascendente.
- **Recomendaciones de uso:** Como ocurre con la banda de 7Ghz, al entrar en el mismo rango de precios que la banda 6-Alta y contar con características similares a esta pero con menor alcance y canalización y mayores restricciones, su uso es recomendable cuando debido a la saturación de la banda 6-Alta, esta no esté disponible.

11GHz (UN-62): Banda de 11Ghz.

- **Código de modalidad:** 2154.
- **Longitud del vano:** Entre 15Km y 20Km.
- **Anchos de banda:** 40Mhz.
- **Restricciones por otros servicios:** Toda la banda tiene un uso preferente por parte del SFS para la recepción de TV.
- **Recomendaciones de uso:** Debido a la saturación por el uso preferente que otros servicios tienen de esta banda, la SESIAD no suele conceder licencias de uso para esta banda.

13 GHz (UN-64): Banda de 13Ghz.

- **Código de modalidad:** 2154.
- **Longitud del vano:** Entre 13Km y 18Km.
- **Anchos de banda:** 28Mhz.
- **Características:** Esta banda apenas cuenta con 4 canales bidireccionales disponibles.
- **Restricciones por otros servicios:** Toda la banda tiene un uso preferente por parte del SFS.
- **Recomendaciones de uso:** Debido a la poca disponibilidad de canales y a la canalización única de 28MHz, siempre que sea posible, es recomendable el uso de la banda de 18Ghz, la cual, al mismo precio y con características similares, ofrece mayores posibilidades de diseño.

15 GHz (UN-66): Banda de 15Ghz.

- **Código de modalidad:** 2154.
- **Longitud del vano:** Entre 15Km y 18Km.
- **Anchos de banda:** 7Mhz, 14MHz y 28MHz.
- **Características:** Esta banda cuenta con apenas 3 canales bidireccionales disponibles para una canalización de 28MHz.
- **Restricciones por otros servicios:** Parte de la sub-banda superior tiene un uso preferente por parte del Servicio Fijo y Móvil para el Ministerio de Defensa.
- **Recomendaciones de uso:** Como ocurría con la banda de 13GHz, es recomendable el uso de la banda de 18GHz cuando sea posible, ya que cuenta

con características similares, y al mismo precio ofrece mayores posibilidades de diseño.

18 GHz (UN-69): Banda de 18Ghz.

- **Código de modalidad:** 2154.
- **Longitud del vano:** Entre 5Km y 15Km.
- **Anchos de banda:** 7Mhz, 13.5MHz, 27.5MHz, 55MHz y 110MHz.
- **Características:** Recientemente se le han otorgado canalizaciones de 110MHz. Sin embargo, aunque en un futuro próximo será posible, a día de hoy los equipos de radio no soportan estas canalizaciones.
- **Restricciones por otros servicios:** Esta banda está también atribuida al Servicio Fijo por Satélite. La sub-banda inferior de la semibanda inferior está también atribuida a los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite.
- **Recomendaciones de uso:** Debido a la poca saturación que presenta el espectro en esta altura y a las altas posibilidades de diseño que ofrece, esta banda es una de las más utilizadas en el diseño de radioenlaces.

23 GHz (UN-91): Banda de 23Ghz.

- **Código de modalidad:** 2154.
- **Longitud del vano:** Entre 4Km y 8Km.
- **Anchos de banda:** 3.5MHz, 7Mhz, 14MHz, 28MHz, 56MHz y 112MHz.
- **Características:** Las canalizaciones de 112MHz asignadas recientemente a esta banda no son soportadas por los equipos de radio de hoy en día.
- **Recomendaciones de uso:** En la práctica, no es una banda muy utilizada ya que para los vanos más largos la banda de 18Ghz ofrece un mayor alcance al mismo precio y para los vanos más cortos es preferible usar la banda de 26GHz, cuyo coste de legalización es menor.

26 GHz (UN-92): Banda de 26Ghz.

- **Código de modalidad:** 2155.
- **Longitud del vano:** Entre 2Km y 8Km.
- **Anchos de banda:** 3.5MHz, 7Mhz, 14MHz, 28MHz, 56MHz y 112MHz.

- **Características:** A día de hoy, los equipos de radio no soportan las canalizaciones de 112MHz asignadas recientemente a esta banda. Además las antenas para esta banda ofrecen una gran ganancia.
- **Restricciones por otros servicios:** Las sub-bandas bajas de esta banda están destinadas a radioenlaces punto a multipunto. Además, toda la semibanda superior está atribuida a título primario a los servicios de exploración de la Tierra por satélite e investigación espacial en sentido descendente en las estaciones de Villafranca del Castillo, Cebreros y Robledo de Chavela.
- **Recomendaciones de uso:** Banda muy recomendable para los vanos más cortos gracias a la gran disponibilidad y posibilidades de diseño que ofrece.

38 GHz (UN-93): Banda de 38Ghz.

- **Código de modalidad:** 2155.
- **Longitud del vano:** Entre 2Km y 5Km.
- **Anchos de banda:** 3.5MHz, 7Mhz, 14MHz, 28MHz, 56MHz y 112MHz.
- **Características:** La alta ganancia de las antenas que trabajan esta banda compensa la corta distancia que alcanzan las portadoras. Las altas canalizaciones de 112MHz asignadas a esta banda aún no son soportadas por los equipos de hoy en día
- **Restricciones por otros servicios:** Esta banda tiene un uso prioritario por parte del Servicio Fijo por Satélite en sentido descendente para las estaciones de investigación espacial de Robledo de Chavela, Villafranca del Castillo y Cebreros.
- **Recomendaciones de uso:** Banda muy utilizada para vanos de corta distancia. Sin embargo, el mayor alcance que ofrece la banda de 26Ghz la convierten en una segunda opción para vanos cortos.

70 y 80 GHz (UN-139): Banda E.

- **Código de modalidad:** 2156 (más barata).
- **Longitud del vano:** Hasta 2Km.
- **Anchos de banda:** 250MHz. Permite el uso de dos canales adyacentes.
- **Características:** Permite tanto duplexaciones FDD como TDD. El coste de su legalización es notablemente más barato en comparación con el resto de banda.

- **Recomendaciones de uso:** Su gran disponibilidad, altas canalizaciones y bajo coste de legalización la convierten en la mejor alternativa para la saturada banda libre de 5GHz.

El resto de bandas han sido descartadas de esta lista debido a que sus bajas prestaciones y disponibilidad hacen que no sean apenas utilizadas, haciendo que además sea difícil encontrar equipos que las trabajen.

2.2.1. Banda E

La banda E, comprende las frecuencias desde los 71GHz hasta los 86GHz, y permite grandes anchos de banda con canalizaciones mínimas de 250MHz. En esta altura del espectro electromagnético las pérdidas causadas por lluvias y la atenuación causada por la absorción de gases en la troposfera son muy elevadas, siendo útil únicamente para vanos de hasta 2km de longitud. Con todo esto, su uso, a priori, podría parecer incoherente, sin embargo su bajo coste anual y los grandes avances tecnológicos en los equipos que trabajan esta banda la han convertido en la mejor solución para la alternativa de la banda libre de 5GHz.

Para satisfacer sus necesidades de conectividad, los proveedores de servicios de internet (ISP), las grandes empresas, los municipios y demás entidades a menudo buscan enlaces inalámbricos de corto alcance con el objetivo de esquivar las elevadas inversiones requeridas por los despliegues de fibra y las líneas alquiladas. Los enlaces en banda libre de 5GHz han servido durante mucho tiempo para este fin ya que ofrecían una solución de alta capacidad a cambio de una única pequeña inversión inicial. Además, contaban con una gran disponibilidad y eran fáciles de administrar.

Teóricamente, estas soluciones podían soportar tráfico bidireccional de hasta 700Mbps. Sin embargo, a medida que las soluciones en banda libre de 5GHz fueron ganando popularidad, su comunidad de usuarios aumentó y con ella, también lo hizo el nivel de interferencias. Los requisitos de capacidad cada vez mayores y la elevada congestión han causado que estas soluciones se vuelvan menos fiables, ya que comprometen la calidad de servicio a los usuarios.

Las tecnologías en 5GHz tratan de reducir las interferencias reduciendo la modulación y/o el ancho de banda del canal, pero esto tiene como consecuencia una gran pérdida de

capacidad. Por lo tanto, aunque se hayan diseñado radioenlaces para ofrecer 700Mbps de capacidad, muchos de estos apenas están ofreciendo canales de 100Mbps.

Con el uso de la banda E se eliminan tanto las interferencias como las limitaciones de capacidad, permitiendo la conectividad multi-Gbps a un bajo coste. Esto es así ya que esta banda permite grandes canalizaciones y es prácticamente ilimitada, además al tratarse de una banda licenciada su uso está regularizado. A pesar de ser una banda licenciada, y requerir un pago anual por sus derechos de uso, es la banda más económica siendo su coste de tan solo 116,60€ por Km y por cada 250MHz de ancho de banda.

Los equipos que trabajan en la banda E son tan compactos como los equipos de 5GHz, e incluso algunos de ellos cuentan con una antena integrada de panel plano de alta ganancia y pequeñas dimensiones. Gracias a esto pueden instalarse radioenlaces fácilmente en cualquier lugar, ayudando a superar las limitaciones introducidas por la regulación pública en materia de radiotransmisiones.

La figura 2.3 muestra la ODU de la familia FibeAir 2000 de Ceragon para la banda E, el IP20-E. La figura 2.4 muestra la antena que opcionalmente puede llevar integrada este equipo. Estas ODUs full-indoor ofrecen capacidades de hasta 2.5Gbps.

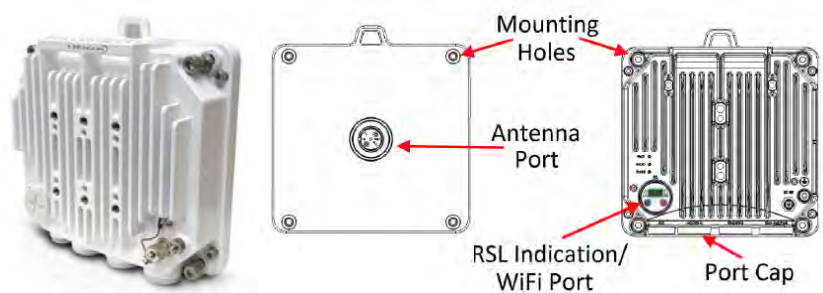


FIGURA 2.3: IP20-E, ODU FULL-INDOOR PARA LA BANDA E DEL FABRICANTE CERAGON.



FIGURA 2.4: ANTENA DE PANEL PLANO PARA ODU IP20-E

2.3. PLANES DE FRECUENCIA

Cada canal de transmisión del Servicio Fijo está definido por los siguientes tres aspectos:

- **Frecuencia:** Es la frecuencia central de la transmisión. En FDD cada canal tiene asignado una frecuencia de transmisión y una de recepción.
- **Canalización:** Es el ancho de banda de la portadora.
- **Polarización:** Cuando se habla de la polarización se hace referencia a la polarización del campo eléctrico de la onda electromagnética. La polarización es siempre lineal, y puede ser vertical u horizontal.

Además de las restricciones introducidas por las Notas de Uso, a fin de evitar interferencias entre los diferentes equipos transmisores deben seguirse las siguientes pautas:

- Dos equipos colocados no pueden transmitir con la misma polarización en el mismo canal, ni en canales de diferente canalización que se solapen.
- Todos los equipos colocados que transmitan en una misma banda deben hacerlo siempre en la misma semibanda. Es decir, todos deben transmitir en los canales altos (X') o en los canales bajos (X).

2.4. TRAMITACIÓN

Para la concesión de canales, el método impuesto por la SESIAD consiste en la propuesta a ciegas de estos por parte del solicitante. Tras esto, la SESIAD comprobará en sus bases de datos si estos canales están disponibles, o si por el contrario ya están siendo utilizados por otro equipo con el que pudiera interferir. En caso de estar disponibles, se asignarán estos canales. En caso contrario, propondrán algún canal libre próximo al propuesto inicialmente o si fuera necesario sugerirán el uso de alguna otra banda.

Para la solicitud de la adquisición de la titularidad de los derechos de uso de los canales entre los emplazamientos solicitados y de la autorización de instalación, deben seguirse los siguientes pasos:

- Realización de un proyecto técnico que incluya una descripción de la red, los valores de los parámetros de los radioenlaces participantes, los equipos empleados y sus principales características técnicas, los tipos de instalaciones que se realizarán, los cálculos pertinentes que justifiquen el correcto diseño de los radioenlaces y las Tablas formularios [Anexo VIII, capítulo 32] que a modo de resumen acogen todos estos valores.
- A través de la aplicación GenXML de la SESIAD para el Servicio Fijo, se genera el archivo “.xml” que contiene los datos sobre los emplazamientos y radioenlaces que la misma herramienta solicita, el proyecto técnico y la declaración de competencia del ingeniero firmante.



FIGURA 2.5: PORTADA DEL SOFTWARE GENXML.

- Una vez obtenido el archivo “.xml”, este debe ser firmado digitalmente con la aplicación eCoFirma por el ingeniero colegiado y obtener el archivo “.xsig”.

- A continuación, a través de la web del Ministerio (enlace en bibliografía, anexo IX, capítulo 36) se envía el archivo “xsig” junto con la declaración de competencia y el proyecto, ambos en formato “pdf”, el modelo de “solicitud de título habilitante y propuesta técnica para uso del dominio público radioeléctrico (Servicio Fijo y radiolocalización)”, adjunto en el anexo VIII, capítulo 32, y el justificante del pago de la tasa de solicitud de nueva estación (69.14€ por estación).
- Llegados a este punto, si hubiera algún punto en incumplimiento con la regulación indicada en las Notas de Uso, o algún canal solicitado estuviese ocupado o pudiera causar interferencia en algún radioenlace ya existente, o hubiera algún error en los datos aportados, será indicado por la SESIAD y se solicitará su cambio.
- Para finalizar, la SESIAD aprobará en su caso el proyecto y enviará al órgano solicitante la resolución por la que se otorga el derecho de uso de referencia a favor [Anexo VIII, capítulo 32], acompañada de un anexo con los datos finales de los radioenlaces, el archivo “xml” definitivo y el recibo a pagar por el uso del espacio radioeléctrico por el año en curso [Capítulo 2.4.1], es decir hasta el 31 de diciembre.
- En este punto ya se puede proceder a la instalación de los radioenlaces en un plazo que no debe superar los nueve meses.
- Una vez se ha realizado la instalación, esta debe ser certificada cumplimentando el técnico competente en materia de telecomunicaciones a cargo de la instalación los formularios titulados como “Solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas”, “Certificación de instalación de estaciones radioeléctricas” y “Certificación de niveles de exposición radioeléctrica de estaciones de radiocomunicaciones” [Anexo VIII, capítulo 32], junto con el justificante del pago de la tasa para la solicitud de puesta en servicio (88.88€por estación).

2.4.1. Cálculo de la tasa anual por la adquisición de la titularidad de los derechos de uso de un canal

Es necesario realizar un pago anual por la obtención de la titularidad de los derechos de uso de un canal. El cálculo de esta tasa anual por canal unidireccional en euros fue publicado en el BOE número 315, de 31 de diciembre de 2011 y se realiza mediante la fórmula 2.1:

Ecuación 2.1:

$$T = \frac{S[\text{km}^2] \cdot B[\text{KHz}] \cdot F(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5)}{166.386} [\text{€}]$$

Donde:

$S[\text{km}^2]$: Es la superficie en kilómetros cuadrados a considerar por cada radioenlace. Para radioenlaces punto a punto del servicio fijo se considera un área de longitud, la longitud del vano y ancho 1Km.

$B[\text{KHz}]$: Es el ancho de banda en [KHz] utilizado en el radioenlace.

$F(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5)$: Es el coeficiente asignado atendiendo al significado que les atribuye la Ley General de las Telecomunicaciones a cada coeficiente y los conceptos a valorar otorgados a cada uno de ellos. [Ecuación 2.2]

Ecuación 2.2:

$$F(C_1, C_2, C_3, C_4, C_5) = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$$

Donde:

C_1 : Es el grado de utilización y congestión de las bandas en una zona geográfica.

C_2 : Es el tipo de servicio para el que se pretende utilizar el radioenlace y en particular si se trata de una autoprestación o una prestación a terceros.

C_3 : Es la banda del espectro. Se tienen en cuenta las características radioeléctricas de esta, sus previsiones de uso y si se trata de un uso exclusivo o compartido.

C_4 : Hace referencia a los equipos y tecnología utilizada.

C_5 : Es el valor económico derivado del uso de la banda, por ejemplo si tiene un uso comercial o no, su rentabilidad o el interés social de la banda.

En el caso de prestaciones a terceros los valores de estos parámetros vienen indicados en la tabla 2.1 (BOE número 153, de 28 de junio de 2017):

Frecuencias	Coeficientes					Código de modalidad
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
$f < 1.000 \text{ MHz}$	1,3	1,05	1,3	1,25	0,2165	2151
1.000-3.000 MHz	1,25	1,05	1,7	1,2	0,21222	2152
3.000-10.000 MHz	1,25	1,05	1,15	1,15	0,2031	2153
10-24 GHz	1,2	1,05	1,1	1,15	0,1827	2154
24-39,5 GHz	1,1	1,05	1,05	1,1	0,1827	2155
39,5-57 GHz y $> 64 \text{ GHz}$	1	1,05	1	1	0,0416	2156

TABLA 2.1: TABLA DE VALORES DE LOS COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE LA TASA ANUAL POR LA OBTENCIÓN DE LA TITULARIDAD DE LOS DERECHOS DE USO DE UN CANAL PARA PRESTACIONES A TERCEROS.

Además, para aquellos radioenlaces donde se reserven frecuencias con doble polarización se considerará, a efectos del cálculo de la tasa, como si se tratara de la reserva del doble de frecuencias, aplicándose una reducción del 25% al valor de la tasa individual.

De la ecuación 2.1 se deduce que, teniendo en cuenta que la longitud del vano es una constante en el diseño del radioenlace, para minimizar los costes de legalización es conveniente, siempre que sea posible, usar las frecuencias de un del rango con menores coeficientes (bandas más altas) y un perfil (ancho de banda y modulación) con una canalización lo más estrecha posible.

2.5. BANDA LIBRE

Además de las bandas licenciadas, la SESIAD también pone a disposición de los usuarios bandas de transmisión denominadas “bandas libres”, que no requieren de ninguna tramitación para su uso. Es decir, no es necesario realizar ningún proyecto ni ningún pago para su utilización, pero no se adquiere ningún derecho de uso y por lo tanto cualquiera puede utilizarlas para sus transmisiones.

Debido a este uso libre, estas bandas concentran una gran cantidad de transmisiones, las cuales se realizan con pequeños anchos de banda a fin de evitar interferencias. Por lo tanto, se puede resumir que las bandas libres no son capaces de ofrecer grandes capacidades.

Por todo esto, la fabricación de equipos en banda libre se centra en una reducción del coste de estos, a costa de ofrecer unas prestaciones más limitadas. De esta forma, la banda libre es una solución económica y sencilla para sistemas de bajos requerimientos.

Al contrario que ocurre en banda licenciada, los equipos en banda libre suelen realizar duplexación TDD, es decir, ambos transceptores transmiten y reciben en la misma frecuencia. De esta forma, se consigue que el ancho de banda de trabajo del sistema quede reducido a la mitad y por lo tanto que se reduzcan las interferencias.

Los equipos en banda libre, más básicos que los equipos en banda licenciada, proporcionan anchos de banda que pocas veces superan los 40MHz y las modulaciones

que soportan no acostumbran a superar la 256QAM, dando lugar a capacidades de hasta 300Mbps. Los equipos más sofisticados son capaces de realizar técnicas de diversidad, permitiendo de este modo configuraciones 2+0 que les permiten duplicar su capacidad.

Normalmente, estos equipos que buscan sencillez, son full-outdoor, viniendo muchos de ellos, acompañados de una antena integrada.

La figura 2.7 muestra el equipo LigoPTP 5-23 PRO de LigoWave, el cual trabaja en la banda libre de 5Ghz consiguiendo capacidades de hasta 220Mbps y viene con una antena integrada de 23 dB de ganancia.



FIGURA 2.6: LIGO PTP 5-23, ODU FULL-OUTDOOR EN BANDA LIBRE DE 5GHZ CON ANTENA INCORPORADA DE 23DB DE GANANCIA.

3- PLANIFICACIÓN

La integración de nuevos radioenlaces para el Servicio Fijo es un proceso que puede volverse enrevesado si no se siguen los siguientes pasos:

- **Descripción de la red:** Primero es importante obtener y clarificar los datos sobre los emplazamientos participantes (datos geográficos, tipo de infraestructura y tráfico que agregan) y definir los parámetros de capacidad y de calidad requeridos.
- **Diseño de radioenlaces:** Con la red una vez definida, ya es posible diseñar los radioenlaces. Esto consiste en la selección de los parámetros de transmisión (canales, anchos de banda, polarización, modulación y técnicas de diversidad empleadas), del tipo de instalación y configuración, y de los equipos necesarios para ello. Todo esto debe hacerse atendiendo al marco legal que engloba al sistema y a las condiciones del escenario en el que se encuentra el radioenlace (perfil del vano y condiciones climatológicas) para que logre alcanzar ciertos requerimientos (requisitos de calidad y de capacidad).
- **Cálculo de radioenlaces:** A continuación es imprescindible realizar una simulación con alguna herramienta de diseño de radioenlaces que cerciore de forma teórica que, con los parámetros seleccionados, el radioenlace cumple con los requisitos buscados en el escenario en el que se encuentra. En caso de que no se cumplan los requisitos de calidad, debe realizarse un replanteo del diseño del radioenlace. Además, es aconsejable comprobar in-situ la existencia de línea de visión directa.
- **Legalización:** Debe realizarse una propuesta técnica, que no es más que un proyecto que, siguiendo los pasos que indica la SESIAD, refleje los datos geográficos de los emplazamientos, los parámetros de transmisión de los radioenlaces y la simulación de este en el entorno. A continuación la SESIAD, aprobará el diseño o lo desestimaré ya sea por incumplimiento de las normas reflejadas en las Notas de Uso o por indisponibilidad de los canales solicitados. En este caso será necesario un replanteo del radioenlace. Una vez se acepte el diseño, deben realizarse ciertas acciones burocráticas y realizar el pago al

MINETAD para la adquisición de la titularidad de los derechos de uso de la frecuencia entre esos emplazamientos.

- **Adquisición de los equipos:** Una vez la SESIAD ha aceptado la propuesta técnica pueden adquirirse los equipos necesarios para la instalación de los radioenlaces.
- **Instalación:** Por último, es posible instalar los radioenlaces con los parámetros indicados en el proyecto presentado a la SESIAD. Además estas instalaciones deben ser certificadas por el técnico competente en materia de telecomunicaciones a cargo de la instalación.

4- DESCRIPCIÓN DE LA RED

La red inalámbrica a integrar es una red de agregación que consta de cuatro radioenlaces punto a punto para el Servicio Fijo de banda ancha, de diferentes capacidades que darán acceso a los usuarios finales del servicio al backbone de forma que puedan conectarse con cualquier otro punto a alta velocidad.



FIGURA 4.1: ESQUEMA DE LA RED.

Las principales partes que componen la red son:

- **Backbone:** Es la gran red compuesta por las principales conexiones troncales de internet con capacidad para transportar datos entre puntos situados en cualquier parte del mundo.
- **Red de agregación:** Es la red que se pretende instalar en la presente propuesta técnica. Reúne el tráfico de los usuarios finales y lo transporta al backbone.
- **Redes de acceso:** Son redes LMDS (Local Multipoint Distribution Service) compuestas por radioenlaces punto a multipunto que conectarán a los usuarios finales con la red de agregación usando la tecnología 4G LTE (Long Term Evolution) en las bandas de 2.6Ghz y 3.5GHz. Estas son bandas licenciadas cuyo derecho de distribución en la zona de Valencia la tiene la empresa Opencable.

Los usuarios finales de la red tendrán acceso a esta a través de sus equipos locales de clientes, conocidos como CPE (Customer Premises Equipment).

4.1. DISEÑO DE LA RED

Los radioenlaces punto a punto bajo estudio se pretende instalar para enlazar los emplazamientos denominados como:

- Torrater
- Benissuera
- Benigànim Pas Forcall
- Quatretonda
- Llutxent

4.1.1. Topología de la red

La siguiente figura muestra las conexiones entre emplazamientos sobre la imagen satelital del terreno obtenida con la herramienta Google Earth Pro.

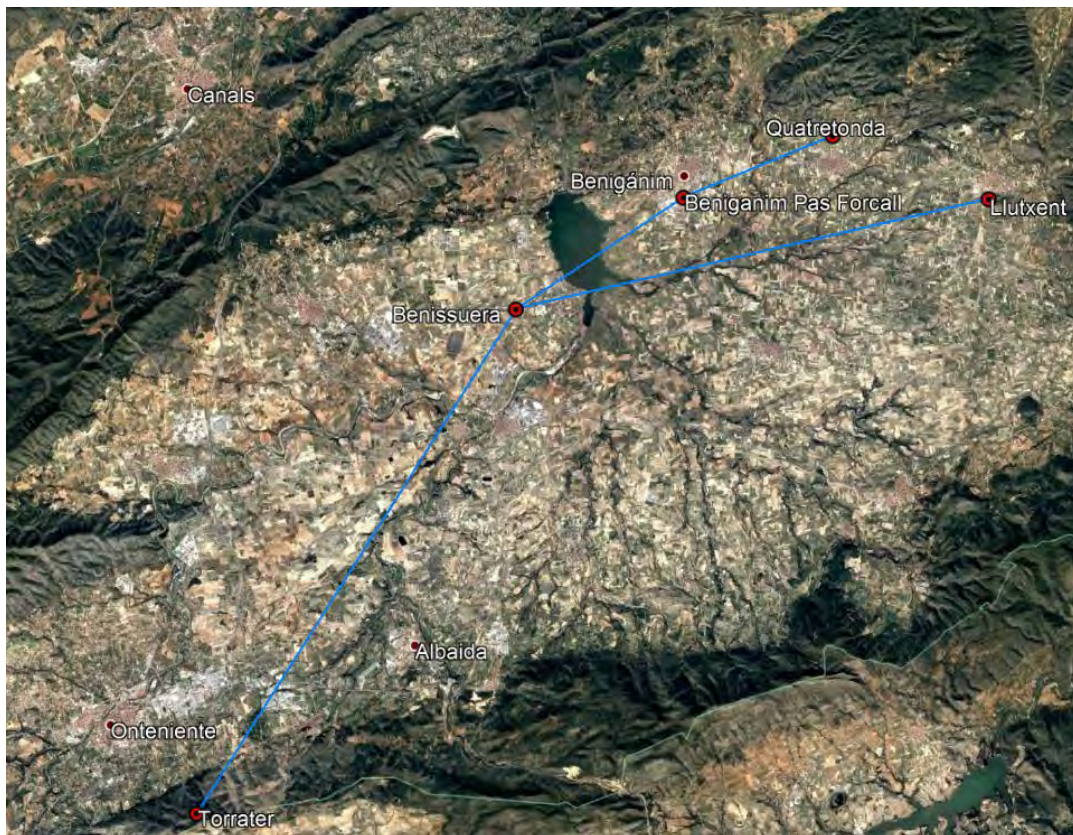


FIGURA 4.2: IMAGEN SATELITAL DE LA RED DE AGREGACIÓN.

La red de agregación que se pretende instalar está dividida en dos subredes:

- **Red de primera agregación:** Está compuesta por tres radioenlaces que transportarán el tráfico de los usuarios de Quatretonda, Benigànim y Llutxent a la red de segunda agregación:
 - Quatretonda – Benigànim Pas Forcall
 - Benigànim Pas Forcall – Benissuera
 - Llutxent – Benissuera
- **Red de segunda agregación:** Agrupará todo el tráfico que transportan los radioenlaces de la red de primera agregación en un único radioenlace y lo transportará al backbone:
 - Benissuera – Torratèr

4.1.2. Requisitos de calidad

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la red y de ofrecer a los usuarios de la misma un servicio de alta calidad, se han establecido los siguientes requisitos de calidad que debe cumplir cada uno de los radioenlaces que componen la red:

- **Disponibilidad:** Disponibilidad general del 99.99%.
- **Fade Margin:** 20dB para los radioenlaces que no apliquen técnicas de diversidad y 15dB para los que si las apliquen.
- **BER:** La Tasa de error binario de referencia está establecida en 10^{-6} .
- **Recuperación frente a caídas:** Inferior a 24 horas para los radioenlaces que componen la red de primera agregación e inmediata para el radioenlace de la red de segunda agregación.

Además, con el fin de adaptar los nuevos radioenlaces a los radioenlaces ya integrados en la red del cliente, se solicita el uso preferencial de las bandas de 38GHz, 26GHz, 18GHz, 13GHz, y 6.4-7.1GHz.

4.1.3. Requisitos de capacidad

La capacidad mínima requerida por cada uno de los radioenlaces se ha calculado según las previsiones de tráfico a largo plazo generado por los usuarios en cada emplazamiento:

EMPLAZAMIENTO	TRÁFICO
Torrater	No tiene acceso a usuarios
Benissuera	No tiene acceso a usuarios
Benigànim Pas Forcall	600Mbps
Quatretonda	300Mbps
Llutxent	300Mbps

TABLA 4.1: TRÁFICO GENERADO EN CADA EMPLAZAMIENTO.

Así, la capacidad mínima requerida para cada radioenlace es:

ENLACE	CAPACIDAD
Benigànim Pas Forcall – Benissuera	900Mbps
Quatretonda – Benigànim Pas Forcall	300Mbps
Llutxent – Benissuera	300Mbps
Benissuera – Torrater	1.2Gbps

TABLA 4.2: CAPACIDAD MÍNIMA REQUERIDA POR CADA RADIOENLACE.

4.1.4. Esquema de la red

El siguiente esquema muestra la topología de la red de agregación indicando los radioenlaces que la forman y su capacidad mínima requerida.

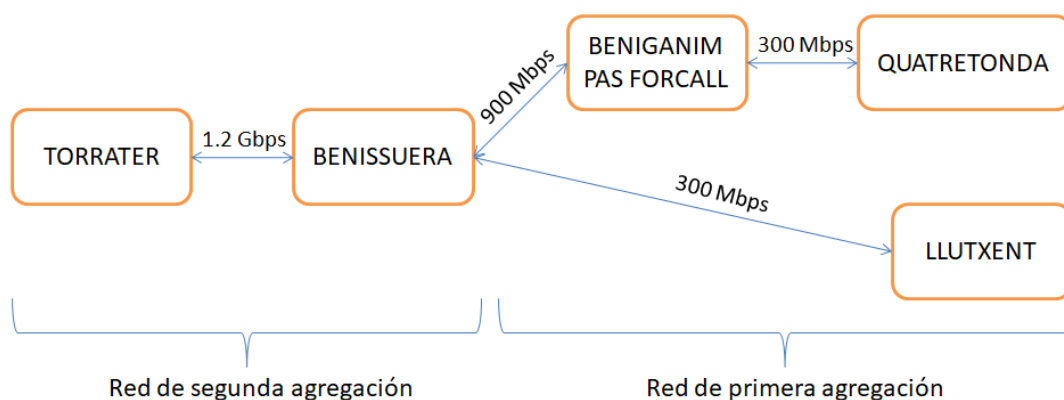


FIGURA 4.3: ESQUEMA DE LA RED DE AGREGACIÓN A INSTALAR.

4.2. DATOS DE LOS EMPLAZAMIENTOS

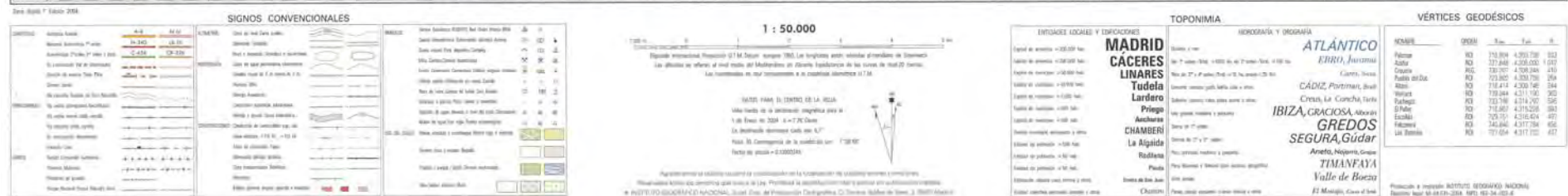
A continuación se indican tanto los datos geográficos de los diferentes emplazamientos que componen la red como las características principales de estos que condicionarán la instalación de los equipos.

4.2.1. Planos topográficos

Se incluyen los planos topográficos a escala 1:50000 de los emplazamientos participantes es esta propuesta.

Estos han sido obtenidos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y la versión utilizada es la “MTN50 Edición impresa”.

Los emplazamientos de Benissuera, Benigànim Pas Forcall, Quatretonda y Llutxent aparecen representados en el plano MTN50-0795 del 2004 correspondiente a la zona de Xàtiva y el emplazamiento denominado como Torratèr, aparece en el plano MTN50-0820 del 2002 correspondiente a la zona de Ontinyent.





4.2.2. Torrater

Este emplazamiento hará de punto de unión entre el backbone y la red de agregación que se pretende integrar.

Dirección postal:

- **Localización:** Plaça Numero 13, 7003
- **Municipio:** Ontinyent
- **Ciudad:** Valencia
- **Código Postal:** 46870

Datos geográficos:

- **Latitud:** 38° 48' 9.85" N
- **Longitud:** 0° 34' 54.31" O
- **Cota:** 661.6 metros



FIGURA 4.4: EMPLAZAMIENTO DE TORRATER.

Características del emplazamiento:

- **Propietario:** Cellnex
- **Tipo de emplazamiento:** Torre de comunicaciones
- **Altura de la torre:** 20 metros
- **Altura de la antena en la torre:** 10 metros



FIGURA 4.5: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE TORRATER.

4.2.3. Benissuera

Este emplazamiento no dará acceso a usuarios a la red y simplemente tendrá la función de repetidor.

Dirección postal:

- **Localización:** Carretera N-340, Km 829.3, Parcela 47
- **Municipio:** Benissuera
- **Provincia:** Valencia
- **Código Postal:** 46893

Datos geográficos:

- **Latitud:** 38° 54' 50.12" N
- **Longitud:** 0° 29' 28.86" O
- **Cota:** 195.9 metros



FIGURA 4.6: EMPLAZAMIENTO DE BENISSUERA.

Características del emplazamiento:

- **Propietario:** Axion
- **Tipo de emplazamiento:** Torre de comunicaciones
- **Altura de la torre:** 30 metros
- **Altura de la antena en la torre:** 28 metros



FIGURA 4.7: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE BENISSUERA.

4.2.4. Benigànim Pas Forcall

Este emplazamiento dará acceso a la red a los usuarios situados en el municipio de Benigànim, cuya población según estipula el INE-2016 es de 5912 habitantes. Además agregará el tráfico de los usuarios de Quatretonda (300Mbps).

Se calcula que el tráfico generado por los usuarios en Benigànim sea de 600Mbps.

Dirección postal:

- **Localización:** Carrer del Pas Forcall, 13
- **Municipio:** Benigànim
- **Ciudad:** Valencia
- **Código Postal:** 46830

Datos geográficos:

- **Latitud:** 38° 56' 18.89" N
- **Longitud:** 0° 26' 37.79" O
- **Cota:** 182.5 metros



FIGURA 4.8: EMPLAZAMIENTO DE BENIGÀNIM PAS FORCALL.

Características del emplazamiento:

- **Propietario:** Axion
- **Tipo de emplazamiento:** Torre de comunicaciones
- **Altura de la torre:** 30 metros
- **Altura de la antena en la torre:** 29 metros



FIGURA 4.9: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE BENIGÀNIM PAS FORCALL.

4.2.5. Quatretonda

Este emplazamiento está destinado a dar acceso a la red a los usuarios situados en Quatretonda, municipio que cuenta con una población es de 2338 habitantes según el INE-2016.

Se estima que sus usuarios generen un tráfico de 300Mbps.

Dirección postal:

- **Localización:** Camino diseminado Diseminados, 4
- **Municipio:** Quatretonda
- **Ciudad:** Valencia
- **Código Postal:** 46837

Datos geográficos:

- **Latitud:** 38° 57' 7.79" N
- **Longitud:** 0° 24' 5.22" O
- **Cota:** 250.4 metros



FIGURA 4.10: EMPLAZAMIENTO DE QUATRETONDA.

Características del emplazamiento:

- **Propietario:** Cellnex
- **Tipo de emplazamiento:** Torre de comunicaciones
- **Altura de la torre:** 25 metros
- **Altura de la antena en la torre:** 20 metros



FIGURA 4.11: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE QUATRETONDA.

4.2.6. Llutxent

En este emplazamiento, dará acceso a los usuarios situados en Llutxent. Según el INE-2016, la población de este municipio es de 2402 habitantes.

El tráfico que se estima que generen sus usuarios es de 300Mbps.

Dirección postal:

- **Localización:** Monte Santa Ana, Acceso Polígono N°16, 1
- **Municipio:** Llutxent
- **Ciudad:** Valencia
- **Código Postal:** 46838

Datos geográficos:

- **Latitud:** 38° 56' 17.40" N
- **Longitud:** 0° 21' 26.00" O
- **Cota:** 306.6 metros

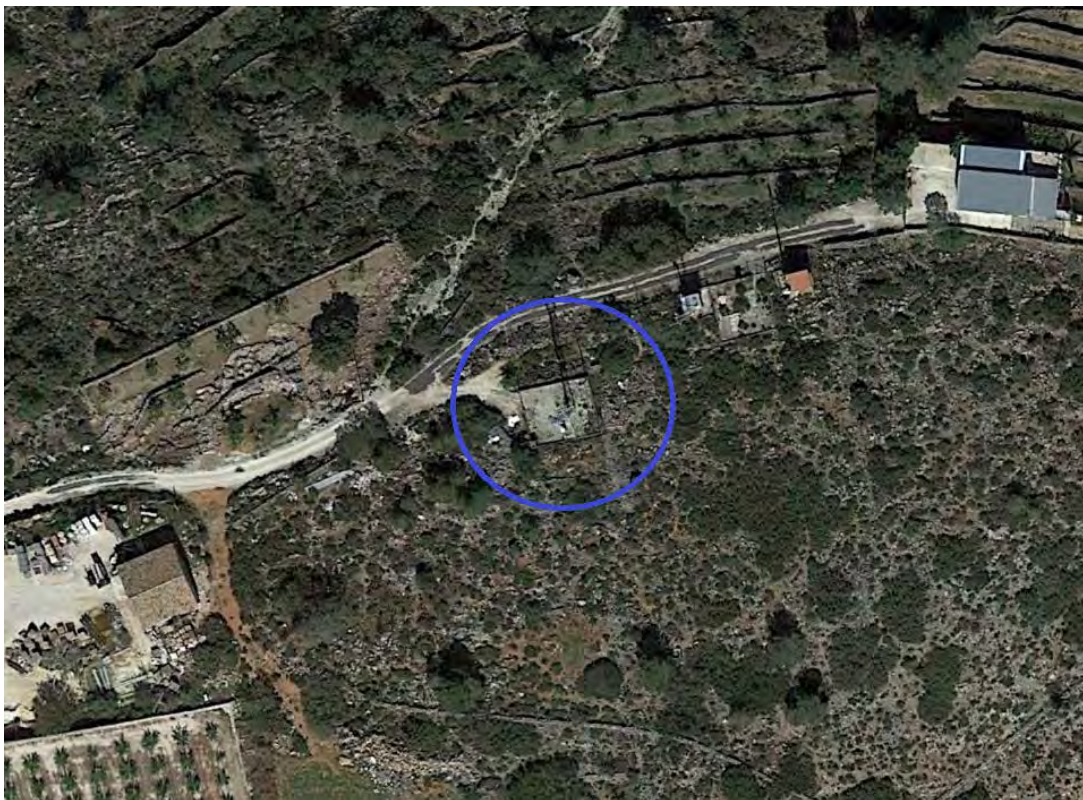


FIGURA 4.12: EMPLAZAMIENTO DE LLUTXENT.

Características del emplazamiento:

- **Propietario:** Axion
- **Tipo de emplazamiento:** Torre de comunicaciones
- **Altura de la torre:** 30 metros
- **Altura de la antena en la torre:** 15 metros



FIGURA 4.13: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE LLUTXENT.

5- DISEÑO DE RADIOENLACES

A continuación se procede a diseñar los cuatro radioenlaces que conforman la red de agregación que se pretende instalar.

5.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RADIOENLACES

Se define como radioenlace toda aquella interconexión entre diferentes equipos de telecomunicaciones mediante la propagación de ondas electromagnéticas por el espacio libre.



FIGURA 5.1: RADIOENLACE PUNTO A PUNTO PARA EL SERVICIO FIJO DE BANDA ANCHA.

Los radioenlaces a instalar son clasificados como punto a punto para el Servicio Fijo de banda ancha. Por lo tanto, resulta imprescindible comenzar por una breve descripción de las principales características que cumplen estos radioenlaces:

- **Comunicación punto a punto (PtP):** La arquitectura básica del sistema consiste únicamente en dos nodos que se comunican entre sí.
- **Sistema Full-Duplex:** La comunicación entre ambos nodos es bidireccional y simultánea. Es decir, ambos nodos pueden transmitir y recibir simultáneamente.
- **Duplexación en frecuencia (FDD):** Cada uno de los nodos transmite en una frecuencia distinta. Los canales de transmisión están siempre definidos por una pareja de frecuencias, una para la transmisión desde uno de los emplazamientos y otra para el otro emplazamiento.

Si bien algunas de las bandas más altas destinadas a este servicio permiten duplexación por división de tiempo (TDD) para reducir el ancho de banda del sistema y por lo tanto disminuir las interferencias, no es común encontrar radioenlaces que trabajen de esta manera.

- **Sistema simétrico:** Aunque estos radioenlaces suelen diseñarse para el mismo ancho de banda y modulación en ambos nodos, a consecuencia de la modulación adaptativa en ocasiones uno de los nodos puede encontrarse trabajando con una modulación más baja.
- **Frecuencias de trabajo microondas:** Todas las bandas destinadas al Servicio Fijo son a frecuencias de microondas. El estándar IEC-60050, establecido por la IEC, y el estándar IEEE-100 establecido por el IEEE, definen las frecuencias de microonda como aquellas que se encuentran en el espectro electromagnético entre 1GHz y 300GHz. Esto implica que las longitudes de onda de las diferentes portadoras oscilen entre los 30cm y 1mm.
- **Radioenlaces terrestres:** Ambos emplazamientos se encuentran siempre situados sobre la corteza terrestre de modo que las ondas electromagnéticas siempre se propagan a través de la troposfera.
- **Servicio fijo (SF):** Cada uno de los nodos se encuentra siempre establecido en el mismo punto. Al no encontrarse nunca en movimiento ninguno de ellos se descarta el efecto doppler.
- **Nomenclatura de las Configuraciones:** Para la denominación de las diferentes configuración se utiliza la nomenclatura N+M, donde N indica la cantidad de caminos de propagación utilizados gracias al uso de técnicas de diversidad y M la cantidad de estos que están respaldados frente a caídas por equipos en HSB. Así, un radioenlace que utilice diversidad de polarización tendrá una configuración 2+0. Si además, ambos emplazamientos cuentan con equipos de respaldo que entren en funcionamiento tan pronto uno de los equipos principales deje de funcionar correctamente, la configuración será 2+2. Las configuraciones más habituales son 1+0, 1+1, 2+0, 2+2 y 4+0.

5.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE RADIOENLACES

Para un correcto diseño de un radioenlace, deben seguirse siempre los siguientes pasos a fin de tener en cuenta todas las posibilidades de diseño y así poder adecuar al radioenlace de la mejor manera posible al escenario en el que se encuentra. Además, es necesario cotejar, mediante alguna herramienta de simulación, que el diseño cumple con los requisitos de calidad.

- **Selección de configuración:** Primero debe establecerse la configuración necesaria para el radioenlace. Para ello se tendrán en cuenta las técnicas de diversidad que se pretenden emplear para lograr una mayor capacidad y si serán necesarios equipos en HSB que garanticen una recuperación inminente del sistema en caso de avería.
- **Selección de ancho de banda y modulación:** Es necesario acudir a las tablas facilitadas por los fabricantes para elegir el ancho de banda y la modulación que sean capaces de otorgar al radioenlace la capacidad deseada.
- **Selección de la portadora:** Cada banda tiene características diferentes que la hacen adecuada para cada escenario en particular. En general, las bajas frecuencias son utilizadas en los radioenlaces sobre vanos más largos y las altas frecuencias sobre los vanos más cortos. Sin embargo, también hay que tener en cuenta las características tanto físicas (sensibilidad frente a lluvia, multitrayecto, absorción y las posibles interferencias) como legales (costes de legalización, anchos de banda permitidos y disponibilidad) de cada banda.
- **Selección de la altura de las antenas:** Las antenas deben situarse a una altura lo suficientemente elevada para que no se encuentren obstáculos en el camino de propagación. Para esto es necesario verificar los perfiles del terreno que facilitan tanto las herramientas de diseño como las herramientas de mapas y cartografía. Además, es aconsejable realizar comprobaciones in-situ.
- **Selección del montaje:** Debe elegirse el montaje más adecuado al escenario en el que se encuentra cada emplazamiento, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas, el resguardo de los equipos, la facilidad de acceso en los emplazamientos a los equipos y las pérdidas de retorno.

- **Selección de equipos y antenas:** Por último, hay que seleccionar los equipos. Estos deben ser compatibles con los parámetros de transmisión elegidos y con el tipo de instalación que se pretende realizar. Los principales parámetros a evaluar son la potencia de transmisión y la sensibilidad de las ODU, la ganancia de las antenas y la modulación alcanzada de las IDUs y sus prestaciones.

5.3. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN

Se ha aplicado a cada radioenlace la configuración más adecuada atendiendo a las necesidades de capacidad y de prevención frente a caídas de equipos.

ENLACE	CONFIGURACIÓN
Benigànim Pas Forcall – Benissuera	2+0 CCDP
Quatretonda – Benigànim Pas Forcall	1+0
Llutxent – Benissuera	1+0
Benissuera – Torratèr	2+2 CCDP HSB

TABLA 5.1: CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOENLACES.

5.3.1. Técnicas de diversidad

Teniendo en cuenta la alta capacidad requerida por algunos de los radioenlaces que se pretenden instalar, se han aplicado las siguientes técnicas de diversidad [Anexo VII, capítulos 26, 27, 28 y 29] con el objetivo de cumplir con los requisitos de capacidad.

ENLACE	DIVERSIDAD
Benigànim Pas Forcall – Benissuera	Polarización
Quatretonda – Benigànim Pas Forcall	N/A
Llutxent – Benissuera	N/A
Benissuera – Torratèr	Polarización

TABLA 5.2: TÉCNICAS DE DIVERSIDAD EMPLEADAS SOBRE LOS RADIOENLACES.

Además, para el caso del radioenlace que une los emplazamientos denominados como Benissuera y Benigànim Pas Forcall, cuya capacidad es inferior a 1Gbps, se aplicará la tecnología que incluyen los equipos Ceragon denominada como MC-ABC (Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control). Esta tecnología permite a dos portadoras de diferentes radios compartir un mismo puerto Ethernet, de forma que el sistema presente un único interfaz del doble de capacidad, sin necesidad de requerir a la agregación de enlaces Ethernet (LAG). Debido a limitaciones del puerto Ethernet la capacidad queda

limitada a 1Gbps cuando se aplica esta técnica. La tecnología MC-ABC distribuye el tráfico byte a byte entre las radios de manera que se logra aprovechar al máximo los recursos disponibles. En el caso de que ambas radios estén trabajando bajo el mismo perfil, la mitad de los datos se enviarán por uno de los enlaces y la otra mitad por el otro. Sin embargo, si por causa de la modulación adaptativa, estos estuvieran trabajando bajo distintos perfiles, los datos se distribuyen de manera proporcional para maximizar la disponibilidad del ancho de banda.

5.3.2. Protección frente a averías

Para hacer frente a las posibles averías que puedan dejar sin servicio a los usuarios de la red, se han seleccionado las siguientes técnicas de prevención frente a averías [Anexo IV, capítulo 15]:

- **Equipos de la red de primera agregación:** Contratación de SLA con servicios de reposición NBD. Como los radioenlaces están diseñados a las mismas frecuencias que el operador suele trabajar, este podrá reemplazar el radioenlace con sus equipos de backup y además tendrá un equipo de reemplazo al siguiente día laboral.
- **Equipos de la red de segunda agregación:** Colocación de equipos en HSB. Debido a que por este radioenlace circulará el tráfico de todos los usuarios que accedan a la red (a través de los emplazamientos Quatretonda, Benigànim Pas Forcall y Llutxent), es necesario que esté preparado para una inmediata recuperación en caso de que alguno de los equipos deje de funcionar correctamente y de este modo evitar una caída masiva de toda la red.

ENLACE	TIPO DE PROTECCIÓN
Benigànim Pas Forcall – Benissuera	SLA con reposición NBD
Quatretonda – Benigànim Pas Forcall	SLA con reposición NBD
Llutxent – Benissuera	SLA con reposición NBD
Benissuera – Torrater	Equipos en HSB

TABLA 5.3: TIPOS DE PROTECCIÓN FRENTE AVERÍAS EMPLEADOS.

5.4. SELECCIÓN DE CANALIZACIÓN Y MODULACIÓN

Apoyándose en los datasheet de los equipos que se pretenden instalar [Anexo VIII, capítulo 30], se ha seleccionado la canalización y la modulación [Anexo V, capítulo 18] adecuada para alcanzar la capacidad mínima requerida en cada radioenlace. No obstante, se emplearán técnicas de modulación adaptativa a fin de evitar un bajo rendimiento del sistema bajo condiciones adversas.

ENLACE	CAPACIDAD	CONF.	BW	MOD.
Benigànim PF – Benissuera	900Mbps	2+0	56MHz	1024HQAM
Quatretonda – Benigànim PF	300Mbps	1+0	56MHz	128QAM
Llutxent – Benissuera	300Mbps	1+0	55MHz	128QAM
Benissuera – Torratèr	1.2Gbps	2+2	80MHz	1024QAM

TABLA 5.4: CANALIZACIÓN Y MODULACIÓN EMPLEADA EN CADA RADIOENLACE.

Todas las canalizaciones seleccionadas son compatibles con las bandas de frecuencia empleadas según la última versión del documento “Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de banda ancha” publicado por la SESIAD.

5.5. SELECCIÓN DE PORTADORAS

Para cada radioenlace se ha seleccionado la portadora [Anexo V, capítulo 16] que mejor se adecúa a las características de este, de forma que todos cumplan con los parámetros mínimos de calidad para las canalizaciones de alta capacidad y las modulaciones utilizadas.

Además, las portadoras seleccionadas se consideran en cumplimiento con la normativa vigente en materia de telecomunicaciones.

5.5.1. Selección de la banda de transmisión.

Basándose en la última versión publicada por la SESIAD del documento titulado como “Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de banda ancha” se ha seleccionado la banda de frecuencias óptima para cada radioenlace teniendo en cuenta la longitud del vano sobre el que este trabaja, las necesidades de canalización y la compatibilidad por semibanda con el resto de la red.

ENLACE	LONG. VANO	BANDA	NOTA DE USO
Benigànim PF – Benissuera	4.95Km	26GHz	UN-92
Quatretonda – Benigànim PF	3.97Km	26GHz	UN-92
Llutxent – Benissuera	11.90Km	18GHz	UN-69
Benissuera – Torrater	14.63Km	6.4-7.1GHz	UN-57

TABLA 5.5: BANDA DE TRABAJO DE CADA RADIOENLACE.

5.5.2. Identificación de semibanda

Haciendo uso de la aplicación IdeSemibanda, dadas unas coordenadas y una banda de frecuencia, se identifican las semibandas de transmisión disponibles para cada emplazamiento, para el Servicio Fijo de banda ancha:

ENLACE	BANDA	SEMIBANDA 1	SEMIBANDA2
Benigànim PF – Benissuera	26GHz	Indiferente	Indiferente
Quatretonda – Benigànim PF	26GHz	Indiferente	Indiferente
Llutxent – Benissuera	18GHz	Indiferente	Indiferente
Benissuera – Torrater	6.4-7.1GHz	Alta	Indiferente

TABLA 5.6: SEMIBANDAS DISPONIBLES PARA CADA RADIOENLACE.

A continuación se incluyen los resultados obtenidos con dicha herramienta:

Torrater @ 6.4-7.1 GHz: Alta

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

IdeSemibanda v3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 48 9.85 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 34 54.31

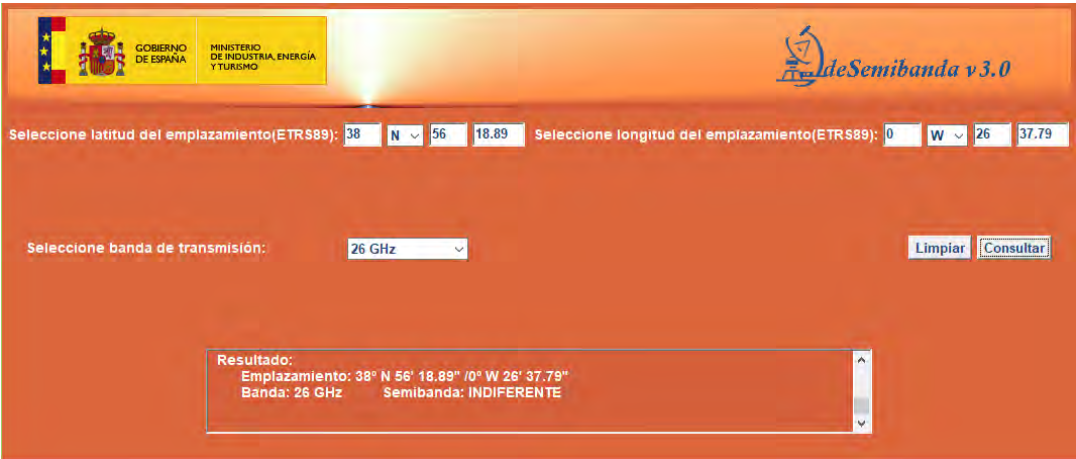
Seleccione banda de transmisión: 6.4 - 7.1 GHz

Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 48' 9.85'' / 0° W 34' 54.31"
Banda: 6.4 - 7.1 GHz Semibanda: ALTA

FIGURA 5.8: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA QUATRETONDA @ 18GHZ.

Benigànim Pas Forcall @ 26GHz: Indiferente



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 56 18.89 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 26 37.79

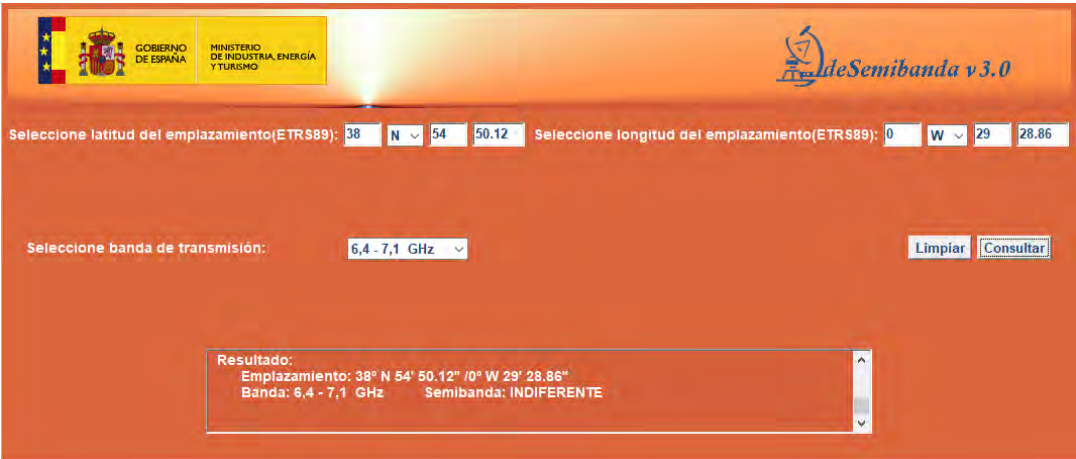
Seleccione banda de transmisión: 26 GHz

Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 56' 18.89" / 0° W 26' 37.79"
Banda: 26 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.2: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENIGANIM PAS FORCALL @ 26GHZ.

Benissuera @ 6.4-7.1 GHz: Indiferente



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 54 50.12 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 29 28.86

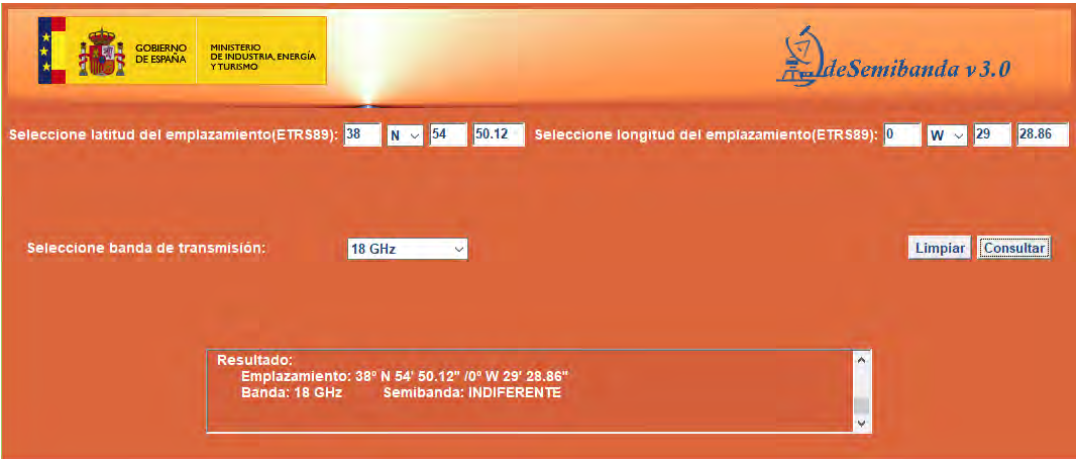
Seleccione banda de transmisión: 6.4 - 7.1 GHz

Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 54' 50.12" / 0° W 29' 28.86"
Banda: 6.4 - 7.1 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.3: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 6.4-7.1GHZ.

Benissuera @ 18 GHz: Indiferente



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 54 50.12 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 29 28.86

Seleccione banda de transmisión: 18 GHz

Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 54' 50.12" / 0° W 29' 28.86"
Banda: 18 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.4: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 18GHZ.

Benissuera @ 26 GHz: Indiferente

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v 3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 54 50.12 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 29 28.86

Seleccione banda de transmisión: 26 GHz Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 54' 50.12" / 0° W 29' 28.86"
Banda: 26 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.5: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 26GHZ.

Llutxent @ 18 GHz: Indiferente

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v 3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 56 17.40 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 21 26

Seleccione banda de transmisión: 18 GHz Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 56' 17.40" / 0° W 21' 26"
Banda: 18 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.6: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA LLUTXENT @ 18GHZ.

Quatretonda @ 18 GHz: Indiferente

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

deSemibanda v 3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 38 N 57 07.79 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 0 W 24 5.22

Seleccione banda de transmisión: 26 GHz Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 38° N 57' 07.79" / 0° W 24' 5.22"
Banda: 26 GHz Semibanda: INDIFERENTE

FIGURA 5.7: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA QUATRETONDA @ 18GHZ.

5.5.3. Selección del canal de transmisión

Con las semibandas de transmisión disponibles identificadas y verificando la disponibilidad de canales en las pertinentes notas de uso del cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF), se solicitará el uso de los siguientes canales de transmisión, quedando su utilización a espera de confirmación por parte de la SESIAD con el fin evitar interferencias con otros radioenlaces ajenos al sistema.

En los radioenlaces en los que no se aplica diversidad de polarización se solicitará el uso de la polarización vertical [Anexo V, capítulo 17] ya que esta responde mejor frente a hidrometeoros y propagaciones multitrayecto.

ENLACE	BANDA [GHz]	BW [MHz]	CANAL 1 [MHz]	CANAL 2 [MHz]
Benigànim PF – Benissuera	26	56	5 – V y H 24801.00	5' – V y H 25809.00
Quatretonda – Benigànim PF	26	56	7' – V 25921.00	7 – V 24913.00
Llutxent – Benissuera	18	55	3 – V 17865.00	3' – V 18875.00
Benissuera – Torratèr	6.4-7.1	80	2'/3' - V y H 6860.00	2/3 - V y H 6520.00

TABLA 5.7: CANALES DE TRANSMISIÓN PROPUESTOS PARA CADA RADIOENLACE.

5.5.4. Esquema de transmisión de la red

A continuación se muestra el esquema de transmisiones de la red, donde se indican las bandas, canales, canalizaciones, y polarizaciones empleados en cada radioenlace.

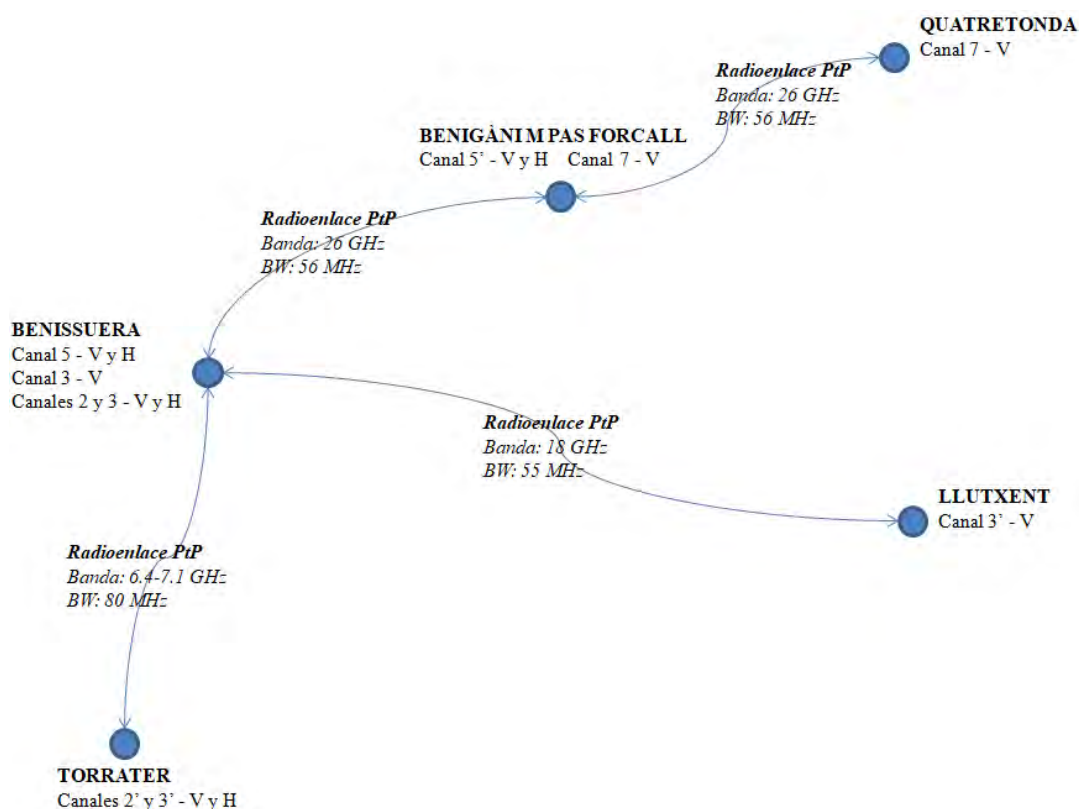


FIGURA 5.9: ESQUEMA DE TRANSMISIONES DE LA RED.

5.6. EQUIPOS E INSTALACIONES

Debido a las favorables condiciones climatológicas y el fácil acceso a las torres, se realizarán instalaciones full-outdoor [Anexo IV, capítulo 13] con el objetivo de simplificar la instalación y el mantenimiento de la red así como de reducir los costes de esta.

La selección de equipos y accesorios, se ha realizado teniendo en cuenta la información aportada en el Anexo IV sobre equipos, accesorios e instalaciones para radioenlaces punto a punto de microondas.

Para los radioenlaces en los que no se apliquen técnicas de diversidad se utilizarán las ODUs full-outdoor moncore de la familia FibeAir 2000 del fabricante Israelí Ceragon, las IP20-S.

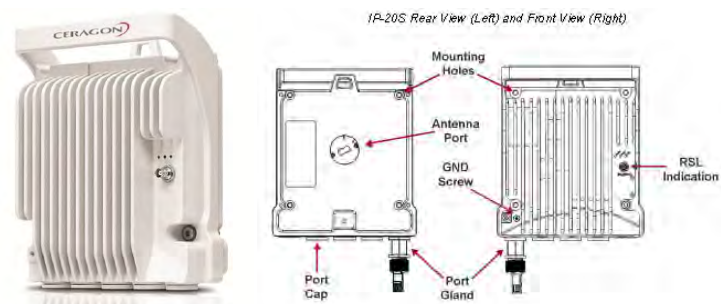


FIGURA 5.10: ODU FULL-OUTDOOR IP20-S DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

En los radioenlaces en los que aplica diversidad de polarización se utilizarán las ODUs full-outdoor dual-core de la misma familia, las IP20-C. Estas ODUs son capaces de transmitir tanto en polarización vertical como horizontal simultáneamente de forma que simplifican el uso de la diversidad de polarización.

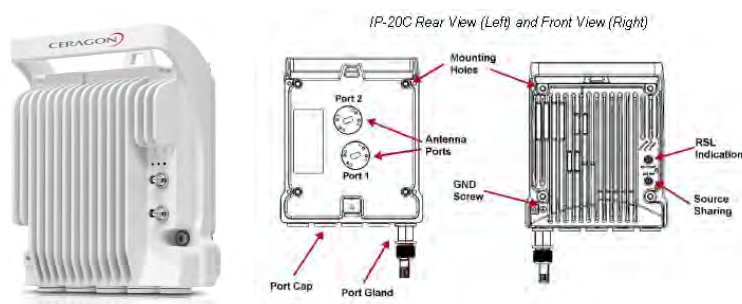


FIGURA 5.11: ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Las antenas empleadas serán las de la familia Compact Line Easy del fabricante alemán RFS. Se utilizarán los modelos con interfaz compatible con las ODUs de Ceragon de forma que permitan montajes direct-mount.



FIGURA 5.12: ANTENA DE LA FAMILIA COMPACT LINE EASY DE RFS.

Tanto las ODUs como las antenas elegidas son equipos de alta gama que ofrecen grandes prestaciones con una buena relación calidad-precio.

5.6.1. Datos técnicos de las ODUs

La siguiente tabla indica los part number de los modelos de las ODUs utilizadas en cada radioenlace. Las ODUs seleccionadas son diseñadas para cumplir con la normativa vigente ETSI sobre radiotransmisiones y su rango de frecuencias de trabajo incluye el canal de transmisión utilizado.

ENLACE	ODU 1	ODU 2
Benigànim PF – Benissuera	IP-20C-E-26-L-L-ESX	IP-20C-E-26-L-H-ESX
Quatretonda – Benigànim PF	IP-20S-E-26-L-H-ESS	IP-20S-E-26-L-L-ESS
Llutxent – Benissuera	IP-20S-E-18w-L-L-ESS	IP-20S-E-18w-L-H-ESS
Benissuera – Torrater	IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-H-ESX	IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-L-ESX

TABLA 5.8: SELECCIÓN DE ODUS PARA CADA RADIOENLACE.

A continuación se indican los principales datos técnicos y características de transmisión de las ODUs atendiendo a la configuración que presentarán una vez instalados. Estos datos han sido obtenidos de los datasheet y product description publicados por el proveedor:

IP-20C-E-26-L-L-ESX

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 24520MHz-25030MHz / 25530MHz-26030MHz
- **Capacidad:** (2x) 493-602 Mbps (2+0, 1024QAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 16 dBm (1024HQAM)
- **Sensibilidad:** -56.5 dBm (1024HQAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (2+0, OMT)
- **C/I cocanal:** 40.38 dB (1024HQAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -1.13 dB (1024HQAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -19.40 dB (1024HQAM@56MHz)

IP-20C-E-26-L-H-ESX

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 25530MHz-26030MHz / 24520MHz-25030MHz
- **Capacidad:** (2x) 493-602 Mbps (2+0, 1024HQAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 16 dBm (1024HQAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -56.5 dBm (1024HQAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (2+0, OMT)
- **C/I cocanal:** 40.38 dB (1024HQAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -1.13 dB (1024HQAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -19.40 dB (1024HQAM@56MHz)

IP-20S-E-26-L-H-ESS

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 25530MHz-26030MHz / 24520MHz-25030MHz
- **Capacidad:** 344-420 Mbps (1+0, 128QAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 19 dBm (1024QAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -66 dBm (128QAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (Direct-Mount)
- **C/I cocanal:** 31.10 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -12.28 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -21.13 dB (128QAM@56MHz)

IP-20S-E-26-L-L-ESS

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 24520MHz-25030MHz / 25530MHz-26030MHz
- **Capacidad:** 344-420 Mbps (1+0, 128QAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 19 dBm (1024QAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -66 dBm (128QAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (Direct-Mount)
- **Interferencias cocanal:** 31.10 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -12.28 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -21.13 dB (128QAM@56MHz)

IP-20S-E-18w-L-L-ESS

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 17700MHz-18200MHz / 18710MHz-19220MHz
- **Capacidad:** 344-420 Mbps (1+0, 128QAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 20 dBm (1024QAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -67.5 dBm (128QAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (Direct-Mount)
- **C/I cocanal:** 31.10 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -12.28 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -21.13 dB (128HQAM@56MHz)

IP-20S-E-18w-L-H-ESS

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 18710MHz-19220MHz / 17700MHz-18200MHz
- **Capacidad:** 344-420 Mbps (1+0, 128QAM@56MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 20 dBm (1024HQAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -67.5 dBm (128QAM@56MHz)
- **Pérdidas de inserción:** 0.5 dB (Direct-Mount)
- **C/I cocanal:** 31.10 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -12.28 dB (128QAM@56MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -21.13 dB (128HQAM@56MHz)

IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-H-ESX

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 6781MHz-6939MHz / 6441MHz-6599MHz
- **Capacidad:** (2x) 604-738 Mbps (2+0, 1024QAM@80MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 25 dBm (1024QAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -58.5 dBm (1024QAM@80MHz)
- **Pérdidas de inserción (Main/Second Path):** 1.6 dB / 6.2 dB (2+2 OMT+Splitter)
- **C/I cocanal:** 46.58 dB (1024QAM@80MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -2.45 dB (1024QAM@80MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -17.32 dB (1024QAM@80MHz)

IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-L-ESX

- **Banda de trabajo (Tx/Rx):** 6441MHz-6599MHz / 6781MHz-6939MHz
- **Capacidad:** (2x) 604-738 Mbps (2+0, 1024QAM@80MHz)
- **Potencia máxima de transmisión:** 25 dBm (1024QAM)
- **Sensibilidad ($BER = 10^{-6}$):** -58.5 dBm (1024QAM@80MHz)
- **Pérdidas de inserción (Main/Second Path):** 1.6 dB / 6.2 dB (2+2 OMT+Splitter)
- **C/I cocanal:** 46.58 dB (1024QAM@80MHz)
- **C/I primer canal adyacente:** -2.45 dB (1024QAM@80MHz)
- **C/I segundo canal adyacente:** -17.32 dB (1024QAM@80MHz)

Tanto las ODUs IP20-C como las IP20-S cuentan con los siguientes puertos:

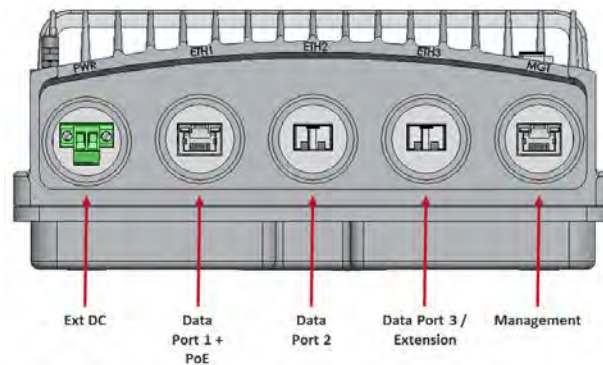


FIGURA 5.13: PUERTOS DE LAS ODUS IP20-S E IP20-C.

- **Puerto PWR:** Es el puerto de alimentación. Estos equipos deben alimentarse a través de una fuente de corriente continua (DC) que les proporcione 48 voltios y una corriente de hasta 1.5 A.
- **Puerto ETH1:** Es el puerto de datos #1. Es un puerto eléctrico Gb-Ethernet. Además, este puerto puede utilizarse para la alimentación del equipo mediante PoE (Power over Ethernet) con el cable Ethernet RJ-45.
- **Puerto ETH2:** Es el puerto de datos #2. Este puerto Gb-Ethernet es óptico. La conexión es con fibra óptica a través de un transceiver SFP.
- **Puerto ETH3 / EXT:** En los IP20-S es el puerto de datos #3, un puerto óptico GB-Ethernet. En los IP20-C es un puerto de extensión para conectarlo al otro equipo en configuraciones MIMO.

- **Puerto MNG:** Es un puerto dedicado de gestión. Su conexión es a través de un cable Ethernet RJ-45 y se emplea para la conexión del equipo a un ordenador para la configuración de este.

El resto de datos técnicos están incluidos en los datasheet del Anexo VIII, capítulo 30.

5.6.2. Datos técnicos de las Antenas

La siguiente tabla indica los part number de los modelos de las antenas utilizadas. Además de ser compatibles con la normativa ETSI en radiocomunicaciones e incluir el canal de transmisión en su banda de trabajo, cuentan con el interfaz apropiado para acoplarse directamente a las ODUs de Ceragon.

ENLACE	ODU 1	ODU 2
Benigànim PF – Benissuera	SC2-250C IPN	SC2-250C IPN
Quatretonda – Benigànim PF	SB1-250B IPN	SB1-250B IPN
Llutxent – Benissuera	SC3-190A IPN	SC2-190B IPN
Benissuera – Torrater	SB4-W60D IPN	SB4-W60D IPN

TABLA 5.9: SELECCIÓN DE ANTENAS PARA CADA RADIOENLACE.

A continuación se indican los principales datos técnicos y características de transmisión de las antenas. Estos datos han sido obtenidos de los datasheet y diagramas de radiación publicados por el proveedor:

SC2-250BIPN

- **Diámetro de la parábola:** 60cm / 2ft
- **Banda de trabajo:** 24250MHz-26500MHz
- **Ganancia:** 42.3dB @ 25380MHz
- **HPBW (Half Power BeamWidth, -3dB):** 1.4°

SB1-250CIPN

- **Diámetro de la parábola:** 30cm / 1ft
- **Banda de trabajo:** 24250MHz-26500MHz
- **Ganancia:** 36.6dB @ 25380MHz
- **HPBW (Half Power BeamWidth, -3dB):** 2.4°

SC3-190AIPN

- **Diámetro de la parábola:** 90cm / 3ft
- **Banda de trabajo:** 17700MHz-19700MHz
- **Ganancia:** 43.3dB @ 18700MHz
- **HPBW (Half Power BeamWidth, -3dB):** 1.1°

SC2-190BIPN

- **Diámetro de la parábola:** 60cm / 2ft
- **Banda de trabajo:** 17700MHz-19700MHz
- **Ganancia:** 39.0dB @ 18700MHz
- **HPBW (Half Power BeamWidth, -3dB):** 1.8°

SB4-W60DIPN

- **Diámetro de la parábola:** 120cm / 4ft
- **Banda de trabajo:** 5925MHz-7125MHz
- **Ganancia:** 35.7dB @ 6520MHz
- **HPBW (Half Power BeamWidth, -3dB):** 2.6°

El resto de datos técnicos de las antenas están incluidos en los datasheet y diagramas de transmisión del Anexo VIII, capítulo 31.

5.6.3. Montajes

Debido a las instalaciones full-outdoor que se pretenden realizar, el montaje de las ODUs a las antenas que más favorece es el direct-mount, ya que en este la antena y la ODU están acopladas directamente reduciendo en gran medida las pérdidas de retorno.

Para que esto sea posible se ha elegido un modelo de antena con un interfaz que conecte directamente con las ODUs de Ceragon:

Radioenlaces en configuración 1+0: Conexión entre la ODU y la antena directa en los herrajes.

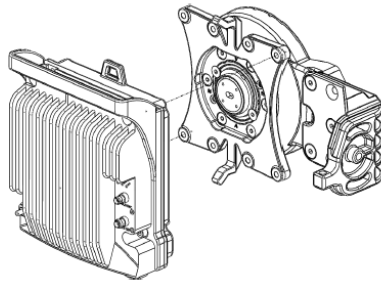


FIGURA 5.14: MONTAJE DIRECT-MOUNT PARA ODU IP20-S.

Radioenlace en configuración 2+0: Es necesario incluir una OMT entre la ODU dual-core y los herrajes de la antena que sea capaz de acoplar ambas polarizaciones.

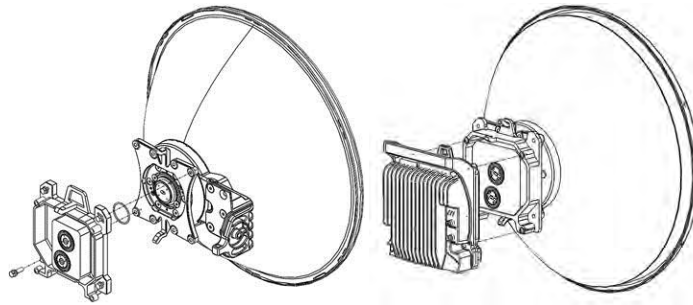


FIGURA 5.15: MONTAJE DIRECT-MOUNT DUAL-POLARIZATION PARA ODU IP20-C.

Radioenlace en configuración 2+2: Además de la OMT que acople ambas señales es necesario incluir un splitter dual que acople las dos señales de ambas ODUs.

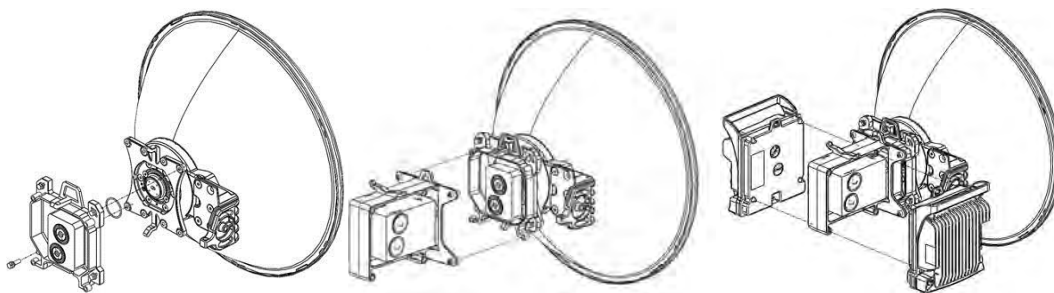


FIGURA 5.16: MONTAJE HSB DIRECT-MOUNT DUAL-POLARIZATION PARA ODU IP20-C.

5.7. FORMULARIOS SOLICITUD SERVICIO FIJO

A modo de resumen, se incluye el formularios que la SESIAD solicita que se adjunte en los proyectos y que recoge los principales datos geográficos de los emplazamientos y los principales parámetros de transmisión de los radioenlaces.

[illegible]

PROPUESTA TÉCNICA PARA EL SERVICIO FIJO (1/2)

☒ **NUEVA INSTALACIÓN**

AMPLIACIÓN

MODIFICACIÓN

Entidad solicitante:**Código expediente Centro Emisor Autorizado¹:**

Identificador Enlace	Nombre estación	Dirección	Municipio Provincia	Longitud Latitud	Cota (m) Alt. antena s/ suelo (m)	Potencia Tx (dBm)	Marca y modelo antena	Diámetro (m) Ganancia (dBi) Apertura haz (°)	Long. vano (km)	Azimut (°) Elevación (°)	Den. Emisión Modulación Capacidad (Mbps)	Umbral (*) (dBm) C/I cocanal (**) (dB) C/I adyacente (**) (dB)	Frec. Tx (MHz) Polarización
RE-1	Benissuera	Carretera N-340, Km 829.3, Parcela 47	Benissuera Valencia	0° 29' 28.86" O 38° 54' 50.12" N	196	16	SC2 - 250BIPN	0.60	4.95	56.39	56M0D7W	-67.50	24801.00 V y H
					28			42.30			1024HQAM	31.10	
								236.42		900	-12.28		
	Benigànim Pas Forcall	Carrer del Pas Forcall, 13	Benigànim Valencia	0° 26' 37.79" O 38° 56' 18.89" N	183	16	SC2 - 250BIPN			0.60	0.13	56M0D7W	-67.50
					29			42.30		1024HQAM		31.10	
								247.70		900	-12.28		
	RE-2	Benigànim Pas Forcall	Carrer del Pas Forcall, 13	Benigànim Valencia	0° 26' 37.79" O 38° 56' 18.89" N	183	19		SB 1 - 250CIPN	0.30	67.67	56M0D7W	-66.00
						29		36.60		128QAM		31.10	
2.40								300		-12.28			
Quatretonda		Camino diseminado Diseminados, 4	Quatretonda Valencia	0° 24' 5.22" O 38° 57' 7.79" N	250	19	SB 1 - 250CIPN	0.30	247.70	56M0D7W	-66.00	24913.00 V	
					20			36.60		128QAM	31.10		
								-0.86	300	-12.28			

1 La tramitación de solicitudes de transporte de programas queda condicionada a la autorización previa del centro emisor correspondiente, debiendo indicarse la referencia de dicho expediente.

(*) Para una BER = 10^{-6}

(**) Para una degradación del umbral de 1 dB

[illegible]

(A rellenar por la Administración)

PROPUESTA TÉCNICA PARA EL SERVICIO FIJO (2/2)

☒ **NUEVA INSTALACIÓN**

AMPLIACIÓN

☐ MODIFICACIÓN**Entidad solicitante:**

Código expediente Centro Emisor Autorizado¹:

Identificador Enlace	Nombre estación	Dirección	Municipio Provincia	Longitud Latitud	Cota (m) Alt. antena s/ suelo (m)	Potencia Tx (dBm)	Marca y modelo antena	Diámetro (m) Ganancia (dBi) Apertura haz (°)	Long. vano (km)	Azimut (°) Elevación (°)	Den. Emisión Modulación Capacidad (Mbps)	Umbral (*) (dBm) C/I cocanal (**) (dB) C/I adyacente (**) (dB)	Frec. Tx (MHz) Polarización
RE-3	Benissuera	Carretera N-340, Km 829.3, Parcela 47	Benissuera Valencia	0° 29' 28.86" O 38° 54' 50.12" N	196	20	SC3 - 190AIPN	0.90	11.94	76.93	55M0D7W	-67.50	17865.00 V
					28			43.30			128QAM	31.10	
										1.10	0.43	300	
	Llutxent	Monte Santa Ana, Acceso Poligono N°16, 1	Llutxent Valencia	0° 21' 26.00" O 38° 56' 17.40" N	307	20	SC2 - 190BIPN	0.60		257.01	55M0D7W	-67.50	18875.00 V
					15			39.00			128QAM	31.10	
										1.80	-0.51	300	
RE-4	Benissuera	Carretera N-340, Km 829.3, Parcela 47	Benissuera Valencia	0° 29' 28.86" O 38° 54' 50.12" N	196	25	SB4 - W60DIPN	1.20	14.63	67.67	80M0D7W	-58.5	6860.00 V y H
					28			35.70			1024QAM	46.58	
										2.60	0.83	1200	
	Torrater	Plaça Numero 13, 7003	Ontinyent Valencia	0° 34' 54.31" O 38° 48' 9.85" N	662	25	SB4 - W60DIPN	1.20		247.70	80M0D7W	-58.5	6520.00 V y H
					10			35.70			1024QAM	46.58	
										2.60	-0.86	1200	

1 La tramitación de solicitudes de transporte de programas queda condicionada a la autorización previa del centro emisor correspondiente, debiendo indicarse la referencia de dicho expediente.

(*) Para una BER = 10^{-6}

(**) Para una degradación del umbral de 1 dB

5.8. CÁLCULO RADIOELÉCTRICO

A continuación se muestran los resultados del cálculo de los radioenlaces [Anexo VI] realizadas con el programa Path Loss.

Estos resultados muestran:

- Los perfiles de los enlaces donde puede comprobarse la existencia de línea de visión directa y las posibles obstrucciones de la primera zona de fresnel para la altura de las antenas propuesta y teniendo en cuenta los efectos de la curvatura terrestre
- Los resultados de los balances de potencias teniendo en cuenta las pérdidas causadas por los principales fenómenos que afectan a los radioenlaces, dando como resultado el fade margin para la máxima potencia de transmisión y los resultados de disponibilidad tanto totales como desglosados.

Estos cálculos son realizados según la Recomendación ITU-R P.530-13 usando los datos sobre hidrometeoros obtenidos con la Recomendación ITU-R P.837-5, y los ficheros con los datos técnicos de los equipos y antenas utilizados.

5.8.1. Mapa orográfico

La siguiente figura muestra el mapa orográfico de la zona donde pueden observarse los relieves montañosos que afectan al sistema.

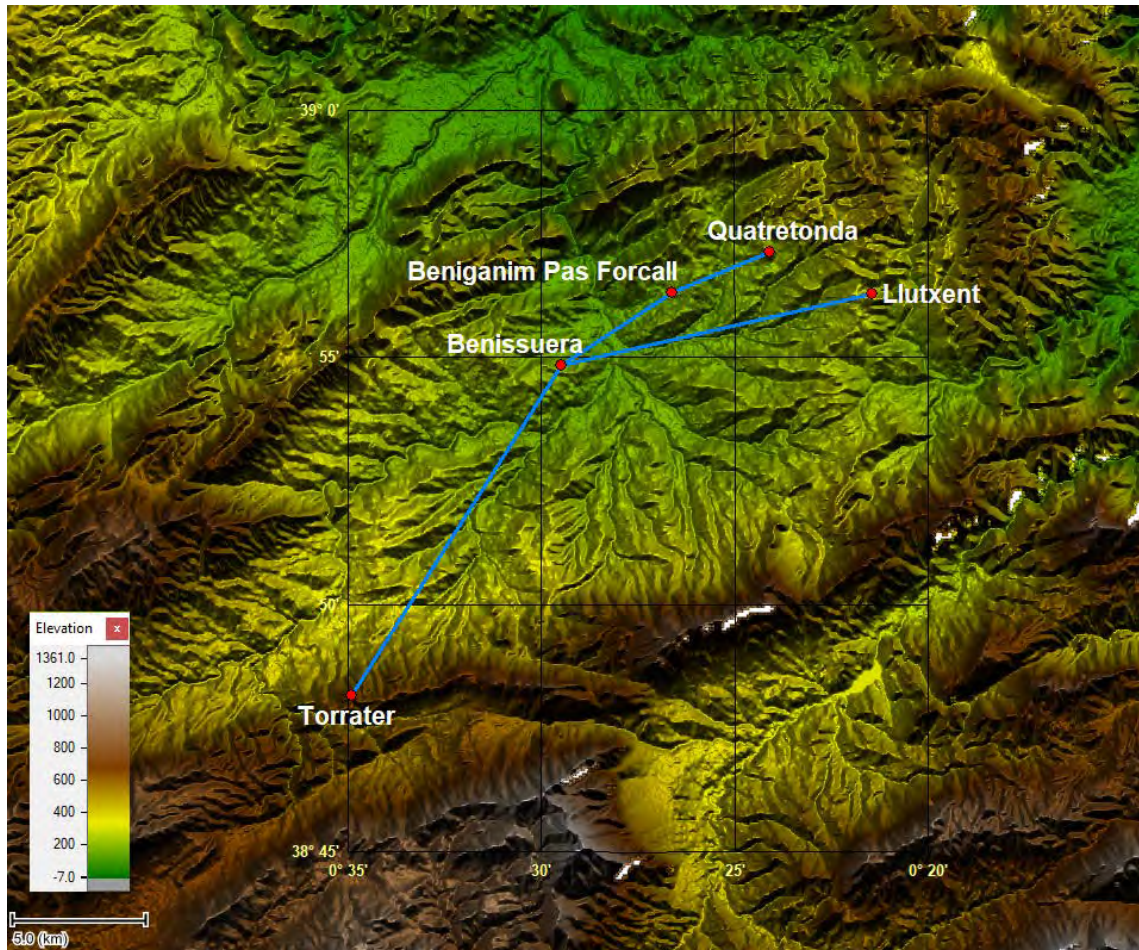


FIGURA 5.17: MAPA OROGRÁFICO DE LA RED.

5.8.2. Radioenlace Benissuera – Benigànim Pas Forcall

Se adjuntan los resultados obtenidos de la simulación del radioenlace Benissuera – Benigànim Pas Forcall:

Perfil del vano:

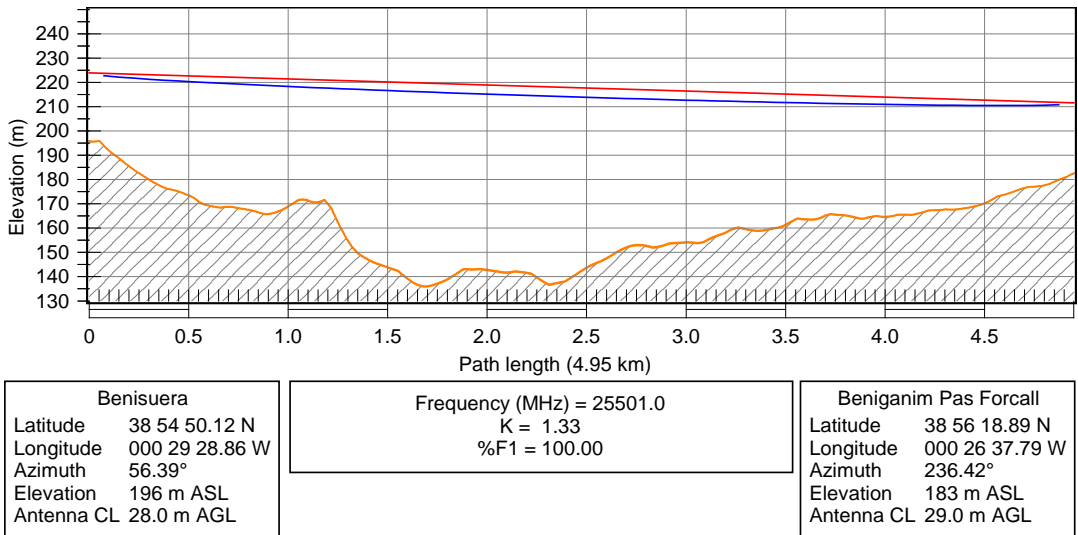


FIGURA 5.18: PERFIL DEL VANO BENISSUERA – BENIGÀNIM PAS FORCALL.

Cálculo del radioenlace:

	Benissuera	Beniganim Pas Forcall
Latitude	38 54 50.12 N	38 56 18.89 N
Longitude	000 29 28.86 W	000 26 37.79 W
True azimuth (°)	56.39	236.42
Vertical angle (°)	-0.16	0.13
Elevation (m)	195.85	182.55
Antenna model	SC 2 - 250B (TR)	SC 2 - 250B (TR)
Antenna file name	sc2-250b-101207	sc2-250b-101207
Antenna gain (dBi)	42.30	42.30
Antenna height (m)	28.00	29.00
Miscellaneous loss (dB)	0.50	0.50
Frequency (MHz)	25501.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	4.95	
Free space loss (dB)	134.49	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.64	
Net path loss (dB)	51.53	51.53
Configuration	2+0 XPIC	2+0 XPIC
Radio model	IP20C-26-56X-9_1502	IP20C-26-56X-9_1502
Radio file name	ip20c-26-56x-9	ip20c-26-56x-9
TX power (dBm)	16.00	16.00
Emission designator	56M0D7W	56M0D7W
EIRP (dBm)	57.80	57.80
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-56.42	-56.42
Receive signal (dBm)	-35.53	-35.53
Thermal fade margin (dB)	20.89	20.89
XPD fade margin - multipath (dB)	16.75	16.75
Flat fade margin - multipath (dB)	15.33	15.33
Dispersive fade margin (dB)	45.60	45.60
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	15.33	15.33
Geoclimatic factor	5.619E-005	
Path inclination (mr)	2.49	
Fade occurrence factor (Po)	3.283E-004	
Worst month multipath availability (%)	99.99904	99.99904
Worst month multipath unavailability (sec)	25.27	25.27
Annual multipath availability (%)	99.99987	99.99987
Annual multipath unavailability (sec)	41.21	41.21
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99974	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	82.41	
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	39.41	
Flat fade margin - rain (dB)	19.94	
Rain attenuation (dB)	19.94	
Annual rain availability (%)	99.99116	
Annual rain unavailability (min)	46.44	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99090	
Annual rain + multipath unavailability (min)	47.81	

TABLA 5.10: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENISSUERA – BENIGÀNIM PAS FORCALL.

5.8.3. Radioenlace Benigànim Pas Forcall – Quatretonda

Se adjuntan los resultados obtenidos de la simulación del radioenlace Benigànim Pas Forcall – Quatretonda:

Perfil del vano:

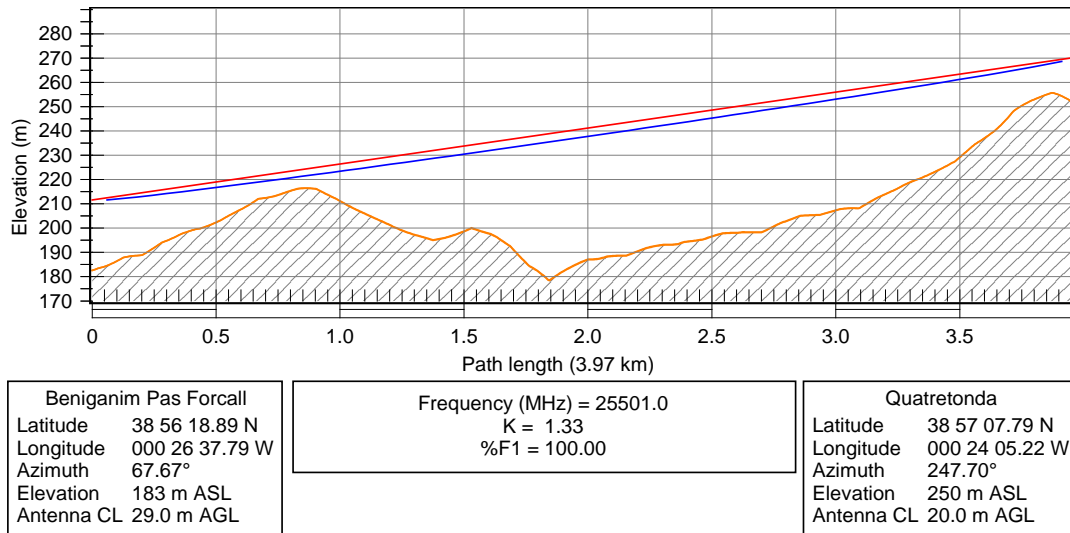


FIGURA 5.19: PERFIL DEL VANO BENIGÀNIM PAS FORCALL - QUATRETONDA.

Cálculo del radioenlace:

	Beniganim Pas Forcall	Quatretonda
Latitude	38 56 18.89 N	38 57 07.79 N
Longitude	000 26 37.79 W	000 24 05.22 W
True azimuth (°)	67.67	247.70
Vertical angle (°)	0.83	-0.86
Elevation (m)	182.55	250.36
Antenna model	SB 1 - 250C (TR)	SB 1 - 250C (TR)
Antenna file name	sb1-250c-130505	sb1-250c-130505
Antenna gain (dBi)	36.60	36.60
Antenna height (m)	29.00	20.00
Miscellaneous loss (dB)	0.50	0.50
Frequency (MHz)	25501.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	3.97	
Free space loss (dB)	132.58	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.52	
Net path loss (dB)	60.90	60.90
Configuration	1+0	1+0
Radio model	IP20S-26-56-5_1502	IP20S-26-56-5_1502
Radio file name	ip20s-26-56-5	ip20s-26-56-5
TX power (dBm)	19.00	19.00
Emission designator	56M0D7W	56M0D7W
EIRP (dBm)	55.10	55.10
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-65.00	-65.00
Receive signal (dBm)	-41.90	-41.90
Thermal fade margin (dB)	23.10	23.10
Dispersive fade margin (dB)	50.40	50.40
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	23.10	23.10
Geoclimatic factor	5.745E-005	
Path inclination (mr)	14.81	
Fade occurrence factor (Po)	3.354E-005	
Worst month multipath availability (%)	99.99998	99.99998
Worst month multipath unavailability (sec)	0.43	0.43
Annual multipath availability (%)	100.00000	100.00000
Annual multipath unavailability (sec)	0.51	0.51
Annual 2 way multipath availability (%)	100.00000	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	1.03	
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	40.04	
Flat fade margin - rain (dB)	23.10	
Rain attenuation (dB)	23.10	
Annual rain availability (%)	99.99628	
Annual rain unavailability (min)	19.57	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99627	
Annual rain + multipath unavailability (min)	19.59	

TABLA 5.11: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENIGÀNIM PAS FORCALL – QUATRETONDA.

5.8.4. Radioenlace Benissuera – Llutxent

Se adjuntan los resultados obtenidos de la simulación del radioenlace Benissuera – Llutxent:

Perfil del vano:

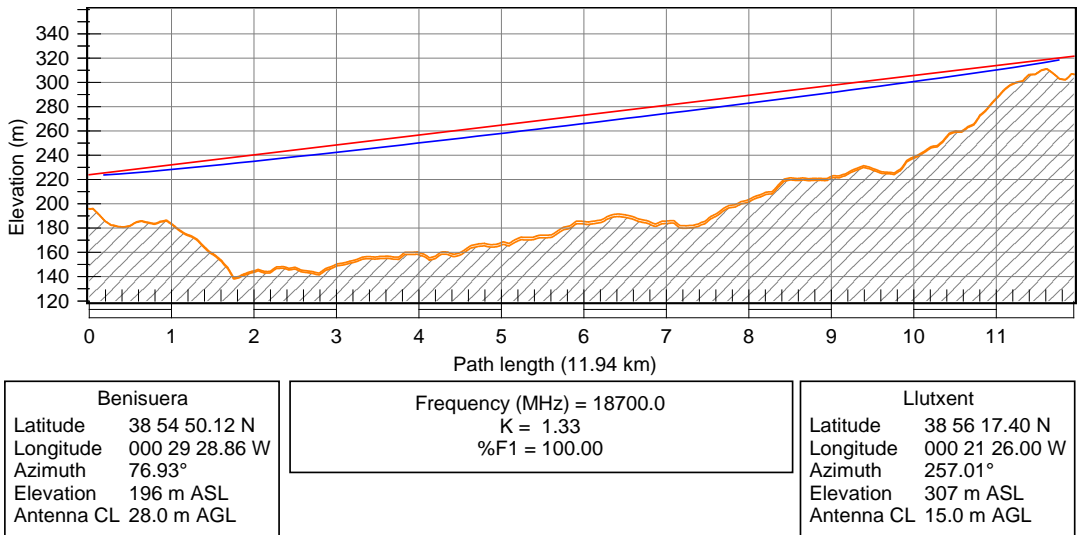


FIGURA 5.20: PERFIL DEL VANO BENISSUERA - LLUTXENT.

Cálculo del radioenlace:

	Benissuera	Llutxent
Latitude	38 54 50.12 N	38 56 17.40 N
Longitude	000 29 28.86 W	000 21 26.00 W
True azimuth (°)	76.93	257.01
Vertical angle (°)	0.43	-0.51
Elevation (m)	195.85	306.59
Antenna model	SC 3 - 190 A (TR)	SC 2 - 190B (TR)
Antenna file name	sc3-190a-121004	sc2-190b-100720
Antenna gain (dBi)	43.30	39.00
Antenna height (m)	28.00	15.00
Miscellaneous loss (dB)	0.50	0.50
Frequency (MHz)	18700.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	11.94	
Free space loss (dB)	139.44	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.79	
Net path loss (dB)	58.93	58.93
Configuration	1+0	1+0
Radio model	IP20S-18-56-5_1502	IP20S-18-56-5_1502
Radio file name	ip20s-18-56-5	ip20s-18-56-5
TX power (dBm)	20.00	20.00
Emission designator	55M0D7W	55M0D7W
EIRP (dBm)	62.80	58.50
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-66.50	-66.50
Receive signal (dBm)	-38.93	-38.93
Thermal fade margin (dB)	27.57	27.57
Dispersive fade margin (dB)	50.40	50.40
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	27.57	27.57
Geoclimatic factor	5.888E-005	
Path inclination (mr)	8.19	
Fade occurrence factor (Po)	1.936E-003	
Worst month multipath availability (%)	99.99966	99.99966
Worst month multipath unavailability (sec)	9.00	9.00
Annual multipath availability (%)	99.99995	99.99995
Annual multipath unavailability (sec)	15.79	15.79
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99990	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	31.57	
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	39.99	
Flat fade margin - rain (dB)	27.57	
Rain attenuation (dB)	27.57	
Annual rain availability (%)	99.99366	
Annual rain unavailability (min)	33.34	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99356	
Annual rain + multipath unavailability (min)	33.87	

TABLA 5.12: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENISSUERA - LLUTXENT.

5.8.5. Radioenlace Torrater – Benissuera

Se adjuntan los resultados obtenidos de la simulación del radioenlace Torrater – Benissuera:

Perfil del vano:

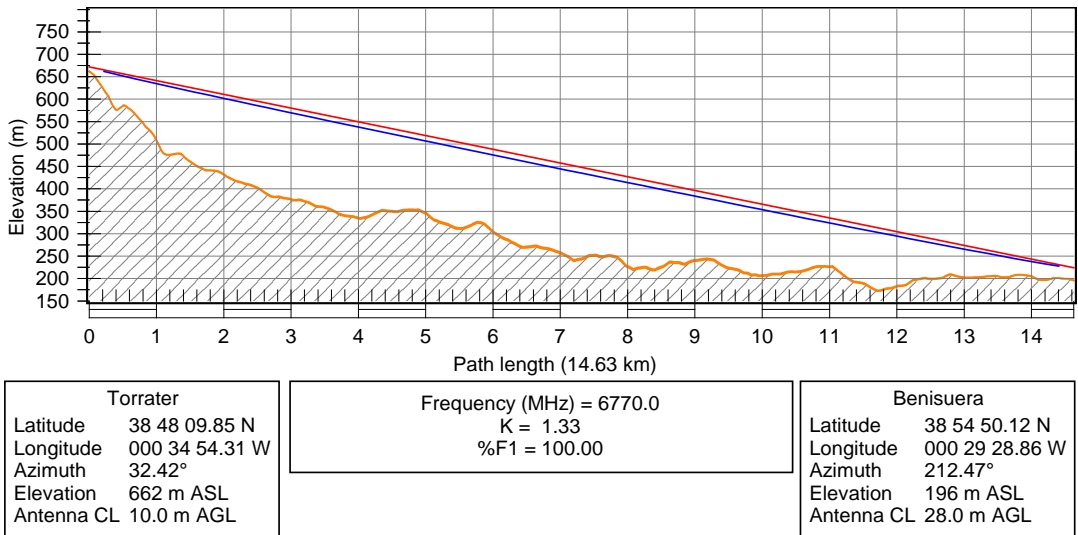


FIGURA 5.21: PERFIL DEL VANO TORRATER - BENISSUERA.

Cálculo del radioenlace:

	Torrater	Benissuera
Latitude	38 48 09.85 N	38 54 50.12 N
Longitude	000 34 54.31 W	000 29 28.86 W
True azimuth (°)	32.42	212.47
Vertical angle (°)	-1.80	1.70
Elevation (m)	661.64	195.85
Antenna model	SB 4 - W60D (TR)	SB 4 - W60D (TR)
Antenna file name	sb4-w60d-140601	sb4-w60d-140601
Antenna gain (dBi)	35.70	35.70
Antenna height (m)	10.00	28.00
Miscellaneous loss (dB)	1.60	1.60
Frequency (MHz)	6770.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	14.63	
Free space loss (dB)	132.39	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.13	
Net path loss (dB)	64.32	64.32
Configuration	2+2 XPIC HSB	2+2 XPIC HSB
Radio model	IP20C-6-80X-9_1506	IP20C-6-80X-9_1506
Radio file name	ip20c-6-80x-9	ip20c-6-80x-9
TX power (dBm)	25.00	25.00
Emission designator	80M0D7W	80M0D7W
EIRP (dBm)	59.10	59.10
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-58.50	-58.50
Receive signal (dBm)	-39.32	-39.32
Thermal fade margin (dB)	19.18	19.18
XPD fade margin - multipath (dB)	17.24	17.24
Flat fade margin - multipath (dB)	15.09	15.09
Dispersive fade margin (dB)	44.70	44.70
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	15.09	15.09
Geoclimatic factor	5.665E-005	
Path inclination (mr)	30.61	
Fade occurrence factor (Po)	4.624E-004	
Worst month multipath availability (%)	99.99856	99.99856
Worst month multipath unavailability (sec)	37.73	37.73
Annual multipath availability (%)	99.99982	99.99982
Annual multipath unavailability (sec)	56.76	56.76
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99964	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	113.51	
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	38.33	
Flat fade margin - rain (dB)	15.25	
Rain attenuation (dB)	15.25	
Annual rain availability (%)	100.00000	
Annual rain unavailability (min)	0.00	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99964	
Annual rain + multipath unavailability (min)	1.89	

TABLA 5.13: CÁLCULO DEL RADIOENLACE TORRATER - BENISSUERA.

Cálculo del radioenlace (second path):

	Torrater	Benisuera
Latitude	38 48 09.85 N	38 54 50.12 N
Longitude	000 34 54.31 W	000 29 28.86 W
True azimuth (°)	32.42	212.47
Vertical angle (°)	-1.80	1.70
Elevation (m)	661.64	195.85
Antenna model	SB 4 - W60D (TR)	SB 4 - W60D (TR)
Antenna file name	sb4-w60d-140601	sb4-w60d-140601
Antenna gain (dBi)	35.70	35.70
Antenna height (m)	10.00	28.00
Miscellaneous loss (dB)	6.20	6.20
Frequency (MHz)	6770.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	14.63	
Free space loss (dB)	132.39	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.13	
Net path loss (dB)	73.52	73.52
Configuration	2+2 XPIC HSB	2+2 XPIC HSB
Radio model	IP20C-6-80X-9_1506	IP20C-6-80X-9_1506
Radio file name	ip20c-6-80x-9	ip20c-6-80x-9
TX power (dBm)	25.00	25.00
Emission designator	60M0D7W	60M0D7W
EIRP (dBm)	54.50	54.50
RX threshold criteria	1E-6 BER	1E-6 BER
RX threshold level (dBm)	-58.50	-58.50
Receive signal (dBm)	-48.52	-48.52
Thermal fade margin (dB)	9.98	9.98
XPD fade margin - multipath (dB)	15.35	15.35
Flat fade margin - multipath (dB)	8.87	8.87
Dispersive fade margin (dB)	44.70	44.70
Dispersive fade occurrence factor	1.00	
Effective fade margin (dB)	8.87	8.87
Geoclimatic factor	5.665E-005	
Path inclination (mr)	30.61	
Fade occurrence factor (Po)	4.624E-004	
Worst month multipath availability (%)	99.99400	99.99400
Worst month multipath unavailability (sec)	157.60	157.60
Annual multipath availability (%)	99.99925	99.99925
Annual multipath unavailability (sec)	237.05	237.05
Annual 2 way multipath availability (%)	99.99850	
Annual 2 way multipath unavailability (sec)	474.11	
Polarization	Vertical	
0.01% rain rate (mm/hr)	38.33	
Flat fade margin - rain (dB)	8.15	
Rain attenuation (dB)	8.15	
Annual rain availability (%)	99.99997	
Annual rain unavailability (min)	0.15	
Annual rain + multipath availability (%)	99.99847	
Annual rain + multipath unavailability (min)	8.05	

TABLA 5.14: CÁLCULO DEL RADIOENLACE TORRATER – BENISSUERA (SECOND PATH).

6- PLANIFICACIÓN LOGÍSTICA

La operación logística consta de la compra de los equipos a tres proveedores distintos y la entrega del material en los almacenes de Ontinyent que tiene la empresa instaladora.

A continuación se indican los tiempos de fabricación y de transporte, así como los INCOTERMS negociados con cada uno de los fabricantes y los tiempos de instalación requeridos por la instaladora:

Ceragon: Es el fabricante de las ODU y sus accesorios.

- **Almacenes:** Sus almacenes en Europa se encuentran en Venray (Holanda).
- **Tiempo de fabricación:** 6 semanas desde que se lanza la orden de compra.
- **INCOTERMS:** EXW
- **Tiempo de transporte:** 5 días hábiles.

RFS: Es el fabricante de las Antenas y sus accesorios.

- **Almacenes:** Sus almacenes en Europa se encuentran en Trignac (Francia).
- **Tiempo de fabricación:** 3 semanas desde que se lanza la orden de compra.
- **INCOTERMS:** EXW
- **Tiempo de transporte:** 5 días hábiles.

Olfer: Es el proveedor de las fuentes de alimentación.

- **Almacenes:** Sus almacenes se encuentran Alcobendas, Madrid.
- **Tiempo de fabricación:** Tienen el material en stock.
- **INCOTERMS:** DDP Península
- **Tiempo de transporte:** 2 días hábiles.

Codipro: Es la empresa encargada de la instalación de los radioenlaces.

- **Almacenes:** Sus almacenes se encuentran Ontinyent, Valencia.
- **Tiempo de instalación:** 1 día por radioenlace.

El tiempo de fabricación más largo es el que necesita el fabricante Ceragon, seis semanas. Una vez lanzado el pedido a Ceragon y conociendo los tiempos de fabricación de las otras empresas y los tiempos de transporte, se lanzará el pedido a estas de forma que sus materiales lleguen al almacén de la empresa instaladora dos o tres días antes que

el material de Ceragon. De esta forma se evitarán los costes de almacenamiento por tener el material inmóvil en el almacén de la instaladora por un tiempo superior a una semana y se evitará retrasar las instalaciones por falta de material.

Mientras que el material comprado al proveedor Olfer será entregado por sus medios en los almacenes de Ontinyent, será necesario organizar el transporte del material en Trignac y Venray hasta Ontinyent. Debido a que el tiempo de fabricación no es grande y con el objetivo de ahorrar costes en transporte, se seleccionarán servicios de transporte terrestre convencional con seguro frente a pérdidas y daños en el material.

Una vez la empresa instaladora cuente con todo el material en sus almacenes, estos requieren un día para instalar cada una de los radioenlaces. Por lo tanto, en 4 días hábiles todos los radioenlaces quedarán instalados. La instalación incluye, además de la instalación de los equipos y las antenas en las torres de telecomunicaciones, la configuración de los equipos que permita el acceso a estos de forma remota, la alineación de las antenas, y las pertinentes pruebas que garanticen el correcto funcionamiento de los radioenlaces.

Finalmente, la red quedará instalada y configurada en un plazo de ocho semanas, el cual es considerado un tiempo bastante aceptable para la instalación de una red de semejantes características.

7- PRESUPUESTO

Se realiza el presupuesto para la integración de la red en términos de CAPEX y OPEX.

7.1. CAPEX

La inversión en los equipos necesarios, comprados a las empresas Ceragon, RFS y Olfer, la mano de obra contratada a la empresa Codipro para la instalación de los radioenlaces y las tasas de instalación suponen un monte de 50289.31 Euros (IVA incluido).

El transporte de las ODU y sus accesorios y el de las antenas desde Venray y Trignan, respectivamente, hasta el almacén de Codipro en Ontinyent será contratado a la empresa de transportes Etasa Forwarding. El precio de ambos transportes, incluyendo seguro a todo riesgo frente a pérdidas y daños, asciende a 510.14 Euros (IVA incluido).

Por lo tanto, teniendo en cuenta ambos costes, el precio de la inversión inicial para la integración de la red es de 50799.45 Euros (IVA incluido).

Cabe destacar en el presupuesto las licencias de las ODU. Estas responden a la cada vez más popular política de empresa, que también aplica Ceragon, “pay as you grow”. De esta forma se reducen los costes de la inversión inicial gracias unos equipos que no aportan todas las prestaciones que están capacitados para ofrecer y estas pueden adquirirse de forma sencilla mediante la realización de pequeños pagos a medida que se vaya requiriendo de ellas.

7.2. OPEX

El coste mínimo anual para mantener operativo el sistema asciende a 24625.70 Euros (IVA incluido). Este coste incluye el pago al MINETAD por la adquisición de la titularidad de los derechos de uso de las bandas, el alquiler del espacio en las torres a Cellnex y Axion y los acuerdos SLA con reposición NBD de las ODU utilizadas en los tres radioenlaces que componen la red de primera agregación.

A este coste debe añadirse el precio de las reparaciones de los equipos fuera de garantía y la mano de obra por su instalación así como otros imprevistos que puedan surgir.

7.3. DESGLOSE DE PRECIOS

Se adjuntan las tablas con los precios individuales de cada artículo y servicio.

BENISSUERA - BENIGÀNIM PAS FORCALL						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
ODUs						
1	CERAGON	IP-20C-E-26-L-L-ESX	ODU-DM-Dual Core-26LGHZ-TL	1	1.422,00 €	1.422,00 €
2	CERAGON	IP-20C-E-26-L-H-ESX	ODU-DM-Dual Core-26LGHZ-TH	1	1.422,00 €	1.422,00 €
LICENCIAS ODUs						
3	CERAGON	IP-20-SL-Capacity-500M	Activación-Modulación 1024HQAM	4	597,54 €	2.390,16 €
4	CERAGON	IP-20-SL-ACM	Activación-Modulación Adaptativa	4	75,48 €	301,92 €
5	CERAGON	IP-20-SL-XPIC	Activación-Diversidad de Polarización	4	38,35 €	153,40 €
6	CERAGON	IP-20-SL-MC-ABC	Activación-Multi Carrier	4	54,00 €	216,00 €
7	CERAGON	IP-20-SL-2nd-Core-Act.	Activación-Segundo Core	2	232,62 €	465,24 €
ACCESORIOS ODUs						
8	CERAGON	SFP-GE-LX-EXT-TEMP	Transceiver-SFP 1000BASE-LX-Para Exterior	2	80,00 €	160,00 €
9	CERAGON	IP-20C-OMT-kit-26G	OMT-26GHz	2	451,58 €	903,16 €
ANTENAS						
10	RFS	SC2-250CIPN	Antena-2ft-26GHz-Compatible Ceragon	2	146,25 €	292,50 €
11	RFS	CO2-250CIPN	Interfaz-Doble Polarización-26GHz	2	39,60 €	79,20 €
FUENTES DE ALIMENTACIÓN						
12	OLFER	RSP-320-48	Fuente Alimentación-321.6W-48Vdc	2	38,90 €	77,80 €
INSTALACIÓN						
13	CODIPRO	INSTALACIÓN DM 2+0	Instalación-Radio Enlace-Direct Monut-2+0	1	1.996,50 €	1.996,50 €
14	CODIPRO	MATERIAL	Cables, Fibra óptica, conectores...	1	175,00 €	175,00 €

BENIGNÀIM PAS FORCALL - QUATRETONDA						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
ODUs						
1	CERAGON	IP-20S-E-26-L-L-ESS	ODU-DM-Mono Core-26LGHZ-TL	1	1.067,25 €	1.067,25 €
2	CERAGON	IP-20S-E-26-L-H-ESS	ODU-DM-Mono Core-26LGHZ-TH	1	1.067,25 €	1.067,25 €
LICENCIAS ODUs						
3	CERAGON	IP-20-SL-Capacity-350M	Activación-Modulación 128QAM	2	443,82 €	887,64 €
4	CERAGON	IP-20-SL-ACM	Activación-Modulación Adaptativa	2	75,48 €	150,96 €
ACCESORIOS ODUs						
5	CERAGON	SFP-GE-LX-EXT-TEMP	Transceiver-SFP 1000BASE-LX-Para Exterior	2	80,00 €	160,00 €
ANTENAS						
6	RFS	SB1-250BIPN	Antena-1ft-26GHz-Compatible Ceragon	2	113,70 €	227,40 €
FUENTES DE ALIMENTACIÓN						
7	OLFER	RSP-320-48	Fuente Alimentación-321.6W-48Vdc	2	38,90 €	77,80 €
INSTALACIÓN						
8	CODIPRO	INSTALACIÓN DM 1+0	Instalación-Radio Enlace-Direct Monut-1+0	1	1.590,00 €	1.590,00 €
9	CODIPRO	MATERIAL	Cables, Fibra óptica, conectores...	1	150,00 €	150,00 €

BENISSUERA - LLUTXENT						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
ODUs						
1	CERAGON	IP-20S-E-18w-L-L-ESS	ODU-DM-Mono Core-18LGHZ-TL	1	1.067,25 €	1.067,25 €
2	CERAGON	IP-20S-E-18w-L-H-ESS	ODU-DM-Mono Core-18LGHZ-TH	1	1.067,25 €	1.067,25 €
LICENCIAS ODUs						
3	CERAGON	IP-20-SL-Capacity-350M	Activación-Modulación 128QAM	2	443,82 €	887,64 €
4	CERAGON	IP-20-SL-ACM	Activación-Modulación Adaptativa	2	75,48 €	150,96 €
ACCESORIOS ODUs						
5	CERAGON	SFP-GE-LX-EXT-TEMP	Transceiver-SFP 1000BASE-LX-Para Exterior	2	80,00 €	160,00 €
ANTENAS						
6	RFS	SC2-190BIPN	Antena-2ft-18GHz-Compatible Ceragon	1	146,25 €	146,25 €
7	RFS	SC3-190AIPN	Antena-3ft-18GHz-Compatible Ceragon	1	323,60 €	323,60 €
FUENTES DE ALIMENTACIÓN						
8	OLFER	RSP-320-48	Fuente Alimentación-321.6W-48Vdc	2	38,90 €	77,80 €
INSTALACIÓN						
9	CODIPRO	INSTALACIÓN DM 1+0	Instalación-Radio Enlace-Direct Monut-1+0	1	1.590,00 €	1.590,00 €
10	CODIPRO	MATERIAL	Cables, Fibra óptica, conectores...	1	150,00 €	150,00 €

TORRATER - BENISSUERA						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
ODUs						
1	CERAGON	IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-L-ESX	ODU-DM-Dual Core-6HGHz-TL	2	1.422,00 €	2.844,00 €
2	CERAGON	IP-20C-HP-6Hw-340A-1W4-H-ESX	ODU-DM-Dual Core-6HGHz-TH	2	1.422,00 €	2.844,00 €
LICENCIAS ODUs						
3	CERAGON	IP-20-SL-Capacity-650M	Activación-Modulación 1024QAM	8	601,54 €	4.812,32 €
4	CERAGON	IP-20-SL-ACM	Activación-Modulación Adaptativa	8	75,48 €	603,84 €
5	CERAGON	IP-20-SL-XPIC	Activación-Diversidad de Polarización	8	38,35 €	306,80 €
6	CERAGON	IP-20-SL-GE-Port	Activación-Port1Gb-Extra	4	100,00 €	400,00 €
7	CERAGON	IP-20-SL-2nd-Core-Act.	Activación-Segundo Core	4	232,62 €	930,48 €
ACCESORIOS ODUs						
8	CERAGON	SFP-GE-LX-EXT-TEMP	Transceiver-SFP 1000BASE-LX-Para Exterior	4	80,00 €	320,00 €
9	CERAGON	IP-20C-OMT-kit-6G	OMT-6GHz	2	451,58 €	903,16 €
	CERAGON	IP-20C-DUAL-CPLR-kit-26G	Acoplador-6GHz	2	712,80 €	1.425,60 €
9	CERAGON	SWITCH	Switch-Selector de ODU	2	405,07 €	810,14 €
ANTENAS						
10	RFS	SB4-W60DIPN	Antena-4ft-6GHz-Compatible Ceragon	2	517,15 €	1.034,30 €
11	RFS	CO2-W60DIPN	Interfaz-Doble Polarización-6GHz	2	39,60 €	79,20 €
FUENTES DE ALIMENTACIÓN						
12	ELECTRONICA OLFER	RSP-320-48	Fuente Alimentación-321,6W-48Vdc	2	38,90 €	77,80 €
INSTALACIÓN						
13	CODIPRO	INSTALACIÓN DM 2+2	Instalación-Radio Enlace-Direct Monut-2+2	1	2.125,75 €	2.125,75 €
14	CODIPRO	MATERIAL	Cables, Fibra óptica, conectores...	1	200,00 €	200,00 €

PORTES						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TRANSPORTE						
1	ESTASA FORWARDING	TRANSPORTE TERRESTRE TRIGNAC - ONTINYENT + SEGURO	1xpalet-72x72x81cm-24Kg 1xpalet-82x48x45-22Kg 1xpalet-103x40x120cm-24Kg 1xpalet-72x69x33cm-14Kg 2xpalet-137x37x143-52Kg Seguro-Todo Riesgo	1	339,60 €	339,60 €
2	ESTASA FORWARDING	TRANSPORTE TERRESTRE VENRAY - ONTINYENT + SEGURO	1xEuropalet-80cm-140Kg Seguro-Todo Riesgo	1	82,00 €	82,00 €

TASAS DE INSTALACIÓN						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TASAS DE INSTALACIÓN						
1	MINETAD	NUEVA INSTALACIÓN	Tasa de solicitud de una nueva estación	5	69,14 €	345,70 €
2	MINETAD	PUESTA EN SERVICIO	Tasa para la solicitud de puesta en servicio	5	88,88 €	444,40 €

TOTAL						
1	TOTAL SIN IVA			41.983,02 €		
2	TOTAL CON IVA			50.799,45 €		

BENISSUERA - BENIGÀNIM PAS FORCALL						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TORRES						
1	AXION	ESPACIO-TORRE-ANTENA-2ft	Espacio en torre-Antena 2ft-1año	2	800,00 €	1.600,00 €
LICENCIAMIENTO						
2	MINETAD	RE-MW-26GHz-56MHz-DP-5Km	Licenciamiento Radioenlace-26GHz-56MHz-DP-5Km	1	1.268,07 €	1.268,07 €
SERVICIOS						
3	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20C-E-26-L-L-ESX	1	275,00 €	275,00 €
4	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20C-E-26-L-H-ESX	1	275,00 €	275,00 €

BENIGÀNIM PAS FORCALL - QUATRETONDA						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TORRES						
1	AXION	ESPACIO-TORRE-ANTENA-1ft	Espacio en torre-Antena 1ft-1año	1	500,00 €	500,00 €
2	CELLNEX	ESPACIO-TORRE-ANTENA-1ft	Espacio en torre-Antena 1ft-1año	1	550,00 €	550,00 €
LICENCIAMIENTO						
3	MINETAD	RE-MW-26GHz-56MHz-4Km	Licenciamiento Radioenlace-26GHz-56MHz-4Km	1	624,99 €	624,99 €
SERVICIOS						
4	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20S-E-26-L-L-ESS	1	250,00 €	250,00 €
5	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20S-E-26-L-L-ESS	1	250,00 €	250,00 €

BENISSUERA - LLUTXENT						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TORRES						
1	AXION	ESPACIO-TORRE-ANTENA-3ft	Espacio en torre-Antena 3ft-1año	1	900,00 €	900,00 €
2	AXION	ESPACIO-TORRE-ANTENA-2ft	Espacio en torre-Antena 2ft-1año	1	800,00 €	800,00 €
LICENCIAMIENTO						
3	MINETAD	RE-MW-18GHz-55MHz-12Km	Licenciamiento Radioenlace-18GHz-55MHz-12Km	1	2.200,23 €	2.200,23 €
SERVICIOS						
4	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20S-E-18w-L-L-ESS	1	250,00 €	250,00 €
5	CERAGON	SLA	Reposición NBD-IP-20S-E-18w-L-L-ESS	1	250,00 €	250,00 €

TORRATER - BENISSUERA						
#	PROVEEDOR	P/N	Description	QTY	Unit Price	Total Price
TORRES						
1	CELLNEX	ESPACIO-TORRE-ANTENA-4ft	Espacio en torre-Antena 4ft-1año	1	1.300,00 €	1.300,00 €
2	AXION	ESPACIO-TORRE-ANTENA-4ft	Espacio en torre-Antena 4ft-1año	1	1.200,00 €	1.200,00 €
LICENCIAMIENTO						
3	MINETAD	RE-MW-6HGHZ-80MHz-DP-15Km	Licenciamiento Radioenlace-6HGHZ-80MHz-DP-15Km	1	7.858,53 €	7.858,53 €

TOTAL						
1	TOTAL SIN IVA			20.351,82 €		
2	TOTAL CON IVA			24.625,70 €		

8- CONCLUSIONES

Pueden concluirse unos resultados para la presente propuesta técnica bastantes satisfactorios, pues todos los radioenlaces cumplen con los requisitos de calidad y de capacidad impuestos por el cliente, se ajustan a la normativa vigente en materia de radiotransmisiones y se han diseñado ajustándose a las características de la red en propiedad del cliente.

Además el tiempo de instalación obtenido ha resultado bastante breve en comparación con otras operaciones similares de semejante envergadura y los equipos de alta calidad que se pretenden adquirir han salido a un buen precio.

8.1. RESULTADOS TÉCNICOS

Todos los radioenlaces que conforman la red cumplen con los requisitos mínimos de calidad pues alcanzan una disponibilidad del 99.99% y presentan un fade margin superior a los 20dB en las configuraciones 1+0 y superior a los 15dB en los radioenlaces sobre los que se aplican técnicas de diversidad de polarización.

ENLACE	FADE MARGIN	DISPONIBILIDAD
Benigànim Pas Forcall – Benissuera	15.33	99.99090
Quatretonda – Benigànim Pas Forcall	23.10	99.99627
Llutxent – Benissuera	27.57	99.99356
Benissuera – Torratèr	15.09	99.99964

TABLA 8.1: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS RADIOENLACES.

Los fade margin y disponibilidades se han calculado con la herramienta de diseño de radioenlaces Path Loss, la cual es muy completa y tiene en cuenta gran cantidad de las pérdidas que sufren los radioenlaces. Además los cálculos son realizados según las diferentes recomendaciones publicadas por la ITU-R.

Puede observarse en cada uno de los perfiles que la altura de las antenas es la adecuada para permitir la existencia de línea de visión directa entre las antenas, e incluso para dejar la primera zona de fresnel liberada de obstáculos. Para esto, se ha realizado un modelo de tierra ficticia a fin de tener en cuenta la curvatura terrestre. Sin embargo, la

longitud de los vanos no es lo suficientemente larga para que el aumento en la altura de los obstáculos sea perceptible.

Todas las bandas y canales seleccionados son compatibles con la actual ley reguladora en materia de radiocomunicaciones según la última versión de la publicación de la SESIAD titulada “Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de banda ancha”. Además, se han utilizado, de entre las bandas propuestas por el operador, las que mejor garantizaban la viabilidad de los radioenlaces buscando siempre disminuir la tasa por la adquisición de los derechos de uso de las mismas.

Para la selección de los canales, se ha comprobado la semibanda de transmisión para cada emplazamiento en la banda afectada y se le han asignado los más bajos posibles a fin de optimizar la fiabilidad del radioenlace. Además, se ha utilizado la polarización vertical en los radioenlaces en configuración 1+0 con el objetivo de disminuir los efectos destructivos de los hidrometeoros y de la propagación multitrayecto.

Los equipos utilizados, tanto ODUs como antenas, son de alta gama y se instalarán siguiendo la topología full outdoor que presenta gran sencillez de instalación y no supondrá apenas de mantenimiento gracias a las condiciones favorables de los escenarios que presentan los diferentes emplazamientos.

Se ha utilizado diversidad de polarización en los radioenlaces que requieran capacidades superiores a los 600Mbps debido a la gran facilidad de implantación que los equipos dual-core presentan para esta técnica.

8.2. REPORTE DE SOLICITUD

A continuación se adjunta el reporte generado por la aplicación GenXML a modo informativo con los datos de los radioenlaces que se pretenden legalizar.



23/08/2017 21:07:57

Nueva red de Servicio Fijo
Uso: Audio, vídeo y datos

SERVICIO FIJO - Punto a Punto

Técnico competente

NIF:

Nombre:

Teléfono:

Email:

☒ El presentador de la documentación declara que el técnico no se encuentra inhabilitado para ejercer sus funciones.

Estaciones

Nombre	Tipo	Dirección	Latitud	Longitud	Datum	Cota
TORRATER	Con antenas	Plaça Numero 13, 7003, Ontinyent (Valencia)	38N4809,85	00W3454,31	ETRS89	662
BENISSUERA	Con antenas	Carretera N-340, Km 829.3, Parcela 47, Benisuera (Valencia)	38N5450,12	00W2928,86	ETRS89	196
BENIGÀNIM PAS FORCALL	Con antenas	Carrer del Pas Forcall, 13, Benigànim (Valencia)	38N5618,89	00W2637,79	ETRS89	183
QUATRETONDA	Con antenas	Camino diseminado Diseminados, 4, Quatretonda (Valencia)	38N5707,79	00W2405,22	ETRS89	250
LLUTXENT	Con antenas	Monte Santa Ana, Acceso Poligono Nº16, 1, Llutxent (Valencia)	38N5617,40	00W2126,00	ETRS89	307

Radioenlaces

Estación A	Estación B	Tipo	Denominac. de emisión	Modulación / Capacidad
BENISSUERA	BENIGÀNIM PAS FORCALL	Bidireccional	56M0D7W	1024HQAM / 900 Mbps
Antena	Antena			
Modelo: RFS SC 2 - 250B	Modelo: RFS SC 2 - 250B			
Altura: 28 m	Altura: 29 m			
Transmisor	Transmisor			
Potencia: 16 dBm	Potencia: 16 dBm			
Receptor	Receptor			
Umbral del Rx: -67,50 dBm	Umbral del Rx: -67,50 dBm			
C/I cocanal: 31,10 dB	C/I cocanal: 31,10 dB			
C/I adyacente: -12,28 dB	C/I adyacente: -12,28 dB			
Frecuencias	Frecuencias			
24801 Mhz - Pol: DP	25809 Mhz - Pol: DP			
BENIGÀNIM PAS FORCALL	QUATRETONDA	Bidireccional	56M0D7W	128QAM / 300 Mbps
Antena	Antena			
Modelo: RFS SB 1 - 250C	Modelo: RFS SB 1 - 250C			
Altura: 29 m	Altura: 20 m			
Transmisor	Transmisor			
Potencia: 19 dBm	Potencia: 19 dBm			
Receptor	Receptor			
Umbral del Rx: -66,00 dBm	Umbral del Rx: -66,00 dBm			
C/I cocanal: 31,10 dB	C/I cocanal: 31,10 dB			
C/I adyacente: -12,28 dB	C/I adyacente: -12,28 dB			
Frecuencias	Frecuencias			
25921 Mhz - Pol: V	24913 Mhz - Pol: V			
BENISSUERA	LLUTXENT	Bidireccional	55M0D7W	128QAM / 300 Mbps
Antena	Antena			
Modelo: RFS SC 3 - 190 A	Modelo: RFS SC 2 - 190B			
Altura: 28 m	Altura: 15 m			
Transmisor	Transmisor			

Potencia: 15 dBm	Potencia: 15 dBm			
Receptor	Receptor			
Umbral del Rx: -67,50 dBm	Umbral del Rx: -67,50 dBm			
C/I cocanal: 31,10 dB	C/I cocanal: 31,10 dB			
C/I adyacente: -12,28 dB	C/I adyacente: -12,28 dB			
Frecuencias	Frecuencias			
17865 Mhz - Pol: V	18875 Mhz - Pol: V			
BENISSUERA	TORRATER	Bidireccional	80M0D7W	1024QAM / 1200 Mbps
Antena	Antena			
Modelo: RFS SB 4 - W60C	Modelo: RFS SB 4 - W60C			
Altura: 28 m	Altura: 10 m			
Transmisor	Transmisor			
Potencia: 25 dBm	Potencia: 25 dBm			
Receptor	Receptor			
Umbral del Rx: -58,5 dBm	Umbral del Rx: -58,5 dBm			
C/I cocanal: 46,58 dB	C/I cocanal: 46,58 dB			
C/I adyacente: -2,45 dB	C/I adyacente: -2,45 dB			
Frecuencias	Frecuencias			
6860 Mhz - Pol: DP	6520 Mhz - Pol: DP			

Documentación

Tipo de documento	Nombre del fichero	Hash
-------------------	--------------------	------

8.3. IMPACTO SOCIAL

Gracias a la instalación de estos cuatro radioenlaces en la zona de La Vall d'Albaida, se dará acceso de banda ancha a tres poblaciones, Quatretonda, Benigànim y Llutxent, las cuales suman un total de 11.000 habitantes.

El acceso a redes de banda ancha ayudará a estas localidades a crecer económicamente favoreciendo el crecimiento de las empresas que realizan sus operaciones desde estas zonas y promocionando la creación de nuevos núcleos empresariales en sus dominios.

8.4. PROSPECTIVA DE LOS RADIOENLACES

A pesar de la rápida evolución que las telecomunicaciones han experimentado [Anexo III, capítulo 11], los usuarios de terminales de telecomunicaciones cada vez reclaman más capacidad, hasta el punto de que está previsto que en 2020 la generación de telefonía móvil 5G esté totalmente integrada en los terminales de la mayoría de los usuarios en España.

Las especificaciones 5G incluyen velocidades mínimas de 20Gbps de descarga y de 10Gbps de subida, lo que supone un incremento en la capacidad de los radioenlaces que conforman las redes. Para que esto sea posible, ya se han establecido canalizaciones de 110MHz/112MHz en las bandas más utilizadas.

Los equipos actuales no soportan estas canalizaciones tan altas. Sin embargo, ya se está trabajando y en breve saldrán al mercado equipos que soporten estas canalizaciones con modulaciones de hasta 4096QAM que ofrezcan capacidades de hasta 5Gbps con el uso de técnicas de diversidad. Para que estas configuraciones sean fiables en largas distancias, los futuros equipos alcanzarán potencias de transmisión de hasta 35dBm y contarán con puertos 10GbE.

Además para hacer frente a los elevados anchos de banda con los que se trabajarán, se implementará la tecnología “Advanced Frequency Reuse” con la que equipos colocalizados podrán recibir en la misma frecuencia siempre y cuando lo hagan con un ángulo mínimo de 15°. Estos equipos discriminarán las señales comunicándose entre ellos.

ANEXO I

COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

9- COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Los radioenlaces punto a punto tienen como objetivo la transmisión de información entre dos terminales de telecomunicaciones situados en emplazamientos alejados una cierta distancia uno del otro.

Actualmente, en el mercado se encuentran varias tecnologías capaces de satisfacer esta necesidad, siendo la fibra óptica y los radioenlaces las más utilizadas en las redes de comunicaciones. Cada una de estas tecnologías cuenta con diferentes características que le aportan ciertas ventajas y desventajas que las convierten en la más apropiada para ser instaladas en un escenario concreto.

9.1. INGENIERÍA

Los trabajos de ingeniería para instalaciones de fibra óptica se basan principalmente en tres elementos: tipo de fibra óptica a instalar, electrónica necesaria y disponibilidad de canalizaciones. Si bien las dos primeras no presentan grandes complicaciones, pues conociendo las necesidades del cliente y la distancia entre emplazamientos son fácilmente deducibles, la disponibilidad de las canalizaciones suele dar muchos quebraderos de cabeza, ya que es común que estas se realicen atendiendo a planos que no se ajustan a la realidad o simplemente sobre intuiciones del cliente por falta de cartografía. Esto obliga a la realización de replanteos una vez los trabajos han sido comenzados.

En el caso de los radioenlaces, los trabajos de ingeniería consisten principalmente en el estudio de la viabilidad de los emplazamientos, la existencia de línea de visión directa entre estos y en selección de los equipos atendiendo a sus bandas de trabajo y prestaciones. Si se realizan los debidos trabajos previos con simulaciones y comprobaciones in-situ, no es común que los escenarios cambien una vez iniciados los trabajos.

Por lo tanto, sobretodo en distancias largas, los trabajos de ingeniería para instalaciones de fibra óptica pueden requerir de numerosos replanteos una vez iniciados los trabajos de instalación, lo que implica también un mayor coste que no entraba en el presupuesto

inicial. Por su parte, en las instalaciones de radioenlaces, con los estudios de viabilidad previos suele ser suficiente, de forma que los presupuestos iniciales permanecerán también inalterados.

9.2. INSTALACIÓN

La instalación de fibra óptica puede requerir de trabajos de obra civil para la canalización de esta. Además, una vez realizado el tendido, es necesario personal cualificado y especializado para el conexionado y el fusionado de las fibras, trabajos que también requieren de maquinaria específica, muy precisa y costosa.

Los trabajos de instalación de radioenlaces, por su parte, pueden requerir de personal que realice trabajos en altura en caso de instalaciones en torres. Además, en el caso de instalaciones de antenas con grandes parábolas, puede necesitarse de varios operarios o incluso de grúas o elementos de elevación.

En definitiva, aunque depende de las múltiples variables que presentan los escenarios de instalación, puede concluirse que los costes de instalación suelen ser mayores para instalaciones de fibra óptica, y los tiempos de trabajo pueden alargarse sobre todo cuando los sistemas presentan grandes distancias. Sin embargo, en el caso de radioenlaces, la distancia de los vanos no afecta tanto ni al coste, ni al tiempo de la instalación.

9.3. CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS

La fibra óptica es un medio no gestionable, por lo tanto la única configuración que requiere es la habilitación de puertos en los equipos.

Para el caso de sistemas de radioenlaces, es necesaria una configuración más compleja, siendo necesario configurar los equipos para que estos transmitan con las características deseadas, canal, ancho de banda y modulación entre otras.

Por lo tanto, aunque la configuración de los equipos sea bastante simple e intuitiva gracias a los sistemas operativos con los que cuentan, requiere de horas de estudio de manuales previos a la puesta en marcha.

9.4. DISPONIBILIDAD

Respecto a las fibras ópticas, si estas han sido debidamente comprobadas y certificadas, ofrecen una disponibilidad total. Por supuesto, siempre y cuando, ninguna obra a posteriori rompa alguna fibra. En este caso, los trabajos de restauración de la fibra suelen ser muy costosos.

La disponibilidad de los radioenlaces depende de las condiciones medioambientales, y aunque la mayoría de los equipos realizan técnicas de modulación adaptativa para aumentar la disponibilidad del sistema, la capacidad de este se ve afectada. Además, gran parte de los equipos se encuentran en la intemperie, y aunque estén preparados para ello, esto les hace más susceptibles de avería.

A pesar de que la reparación de fibra óptica puede ser muy costosa, no es frecuente que esta sea cortada. Por lo tanto en sistemas en los que la disponibilidad sea un elemento primordial, es aconsejable el uso de fibra óptica.

9.5. CAPACIDAD

La capacidad de un sistema que trabaja sobre fibra óptica, no queda limitado por esta, y si por los equipos que interpretan las señales. Actualmente, el mercado cuenta con equipos permiten capacidades de hasta 10Gbps.

En el caso de radioenlaces, la máxima capacidad ofrecida se ve limitada por los efectos de la propagación de las ondas electromagnéticas en la troposfera. Exprimiendo al máximo las prestaciones de los equipos que encontramos actualmente en el mercado, contando con un escenario totalmente favorable y haciendo uso de técnicas de diversidad, se pueden conseguir tasas de hasta 2Gbps.

Esta es sin duda la mayor limitación con la que cuentan los radioenlaces. En materia de capacidades, los sistemas de fibra óptica ofrecen prestaciones mucho mayores, quedando el uso de radioenlaces totalmente descartado en sistemas con elevados requerimientos de capacidad.

9.6. SEGURIDAD

El acceso a una fibra óptica es realmente complicado, siendo necesario abrir una arqueta, cortar la fibra y conectarla a la fibra del equipo pirata. Todos estos trabajos son tan complicados que hacen que la fibra óptica sea un medio totalmente seguro.

El acceso al haz de un radioenlace, aunque más sencillo, es también muy complejo. Requiere de equipos receptores del mismo modelo, para que sean compatibles a nivel MAC, con una banda de recepción que incluya la frecuencia de la portadora. No obstante, la información viaja encriptada de acuerdo a los diferentes estándares de seguridad.

Se puede concluir, que por lo tanto, ambos sistemas son muy fiables en materia de seguridad.

9.7. COSTES

Aunque los equipos de fibra óptica son más económicos, los costes de instalación son muy elevados en el caso de requerir trabajos de obra pública para la realización del tendido. Además, en este caso, el coste aumenta de manera proporcional a la longitud del sistema.

Los equipos para radioenlaces son más caros, sobre todo cuando es necesario el uso de equipos dual-core o de mayor potencia de transmisión. Sin embargo, la instalación es mucho más económica si se compara con los costes que conlleva la canalización de la fibra óptica. Además, el coste de la instalación no se ve alterado con respecto a la longitud del vano, siempre y cuando no sea necesario personal y maquinaria especializada para la elevación de antenas de gran volumen y peso.

Debido al gran coste que supone la canalización de fibra óptica, el uso de radioenlaces es mucho más económico, al menos en las instalaciones más comunes, exentas de maquinaria y personal especializado.

ANEXO II

IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

10- IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Que las telecomunicaciones están en pleno auge es un hecho. Hoy en día hay muchas empresas, sociedades y particulares que necesitan acceso a redes de banda ancha hasta en las zonas más remotas, ya sea, para poder ofrecer servicios de alta calidad o simplemente para satisfacer sus necesidades de ocio.

10.1. IMPACTO EN LA SALUD

Con el crecimiento de las radiocomunicaciones, son muchas las personas que manifiestan su preocupación por las posibles consecuencias negativas que las ondas electromagnéticas puedan acarrear a la salud. Sin embargo, a la pregunta de si los radioenlaces de microondas afectan negativamente o no la salud de las personas, la respuesta es clara: No.

Para que las ondas electromagnéticas tengan efectos cancerígenos sobre las personas, el cuerpo humano debe estar expuesto a una radiación ionizante. Para que esto ocurra, los fotones que impactan contra los átomos del cuerpo deben tener una energía de al menos 4eV para así poder liberar al menos un electrón del átomo.

La energía de las ondas electromagnéticas no depende de la potencia de transmisión y si de la frecuencia de la portadora. Las ondas utilizadas en radiotransmisiones nunca superan los 300GHz, lo que supone una energía de 0.00125eV, es decir, una diezmilésima parte de la energía necesaria para poderlo considerar una radiación ionizante.

La ecuación 10.1 relaciona la energía de la portadora con su frecuencia:

Ecuación 10.1:

$$E = h \cdot f$$

Donde:

E: Es la energía de la onda.

f: Es la frecuencia en de la portadora.

h: Es la constante de Planck.

$$h = 4.13566733 \cdot 10^{-15} [eV \cdot s]$$

10.2. IMPACTO VISUAL

Este auge de las telecomunicaciones ha supuesto un gran aumento en la cantidad de radioenlaces y por lo tanto, también en equipamiento e infraestructura que rompen con la estética de los paisajes tanto rurales como urbanos.

Es por esto que muchos fabricantes facilitan equipos que abandonan el típico color blanco de las ODU y antenas en pro de colores que se mimeticen con el medio. Estos equipos color camuflaje también son adquiridos para radioenlaces usados en operaciones militares.

Respecto a las infraestructuras, es común encontrar torres o postes con forma de árbol a fin de que estos y las antenas que albergan pasen lo más desapercibidas posible.



FIGURA 10.1: POSTES DE TELECOMUNICACIONES CAMUFLADOS COMO ÁRBOLES.

ANEXO III

CRONOLOGÍA DE LOS RADIOENLACES

11- CRONOLOGÍA

Las telecomunicaciones se han convertido hoy en día la principal herramienta de acceso a información con la que el ser humano consigue satisfacer muchas de sus inquietudes. Sin embargo, el ser humano es un ser perfeccionista e inconformista, que a medida que va alcanzando metas se le abren nuevos horizontes. Este sinfín de inquietudes ha obligado a las telecomunicaciones a ir evolucionando de la mano del hombre con redes que cada vez cuentan con mayor velocidad, mayor fiabilidad, mayor alcance y un largo etcétera.

Para satisfacer estas necesidades, las redes de comunicaciones han ido evolucionando constantemente, y con ellas uno de los elementos más importantes que las componen, los radioenlaces.

- **1885:** Heinrich Rudolf Hertz descubre la forma de producir y detectar las ondas electromagnéticas predichas por Maxwell unos años antes. Como muestra de reconocimiento hacia sus investigaciones, en 1930 la Comisión Electrotécnica Internacional decidió poner su nombre a la unidad de medida de frecuencias.
- **1901:** Guglielmo Marconi establece la primera comunicación radio, transmitiendo una letra “S” en código Morse entre Inglaterra y Canadá.
- **1906:** Se realizó la primera transmisión modulada. La modulación utilizada fue en amplitud (AM).
- **1927:** Se establece el primer servicio radio, el cual unía EEUU con Inglaterra gracias a un radioenlace que trabajaba en la banda de 50-60KHz
- **1939:** Empieza a emplearse la modulación en frecuencia (FM) a fin de reducir el ruido introducido por las tormentas y equipos.
- **1947:** Se establece el primer radioenlace de microondas. Este unía las ciudades estadounidenses de Nueva York y Boston en la banda de 4GHz con 480 canales FDM.
- **1959:** Comienza a utilizarse la banda de 6Ghz con 1860 canales FDM.

- **1969:** Nace la primera generación de radioenlaces digitales. Modulando en frecuencia (FSK) otorgaban capacidades desde 2Mbps hasta 34Mbps.
- **1980:** Comienza la segunda generación de radioenlaces digitales, los cuales se destacaron por emplear modulaciones en cuadratura. Lograron alcanzar capacidades de hasta 140Mbps con modulaciones 64QAM.
- **1993:** La tercera generación de radioenlaces digitales va desde 1993 hasta nuestros tiempos. Actualmente se logran capacidades de hasta 1Gbps, o incluso 2.5Gbps en las bandas de frecuencia más altas que permiten grandes canalizaciones como la banda E. Los equipos utilizados en la actualidad alcanzan modulaciones de hasta 2048QAM y han evolucionado en modelos compactos y de fácil instalación como las ODUs full out-door dual-core.

ANEXO IV

EQUIPOS E INSTALACIONES

12- EQUIPOS

Para la instalación de un radioenlace, se requieren una serie de equipos básicos por emplazamiento como son una IDU, que es el equipo modem, una ODU, que es el equipo de radio transceptor de las ondas electromagnéticas y una antena que aporte ganancia a las señales transmitidas y recibidas. Además, según las características de la instalación, hay una serie de accesorios que también son habituales de encontrar en este tipo de instalaciones.

12.1. IDU (IN-DOOR UNIT)

Es el equipo de interior. Actúa como modem para conectar la ODU con la red. Sus principales funciones son:

- Modulación y demodulación de señales. Es decir, convierte las señales digitales en analógicas para entregárselas a la ODU y viceversa.
- Multiplexación y demultiplexación de señales.
- Realiza mecanismo de corrección de errores.
- Preparación de protocolos e interfaces.
- Gestión de QoS.
- Alimentación de las ODUs.

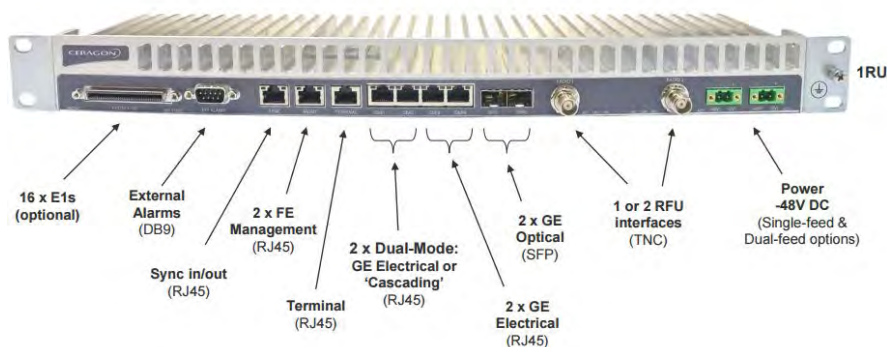


FIGURA 12.1: IDU IP20-G DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

12.2. ODU (OUT-DOOR UNIT)

Es el equipo de exterior. Actúa como interfaz entre la antena y la IDU. Es decir, es la encargada de entregar a la IDU las señales captadas por la antena, y de transmitir a la antena las señales moduladas por la IDU.

Se puede decir que la ODU es el equipo de radiofrecuencia en sí, pues es quien radia las señales moduladas por la IDU. Las ODUs cuentan con todos los filtros necesarios para adecuar el equipo a la banda de trabajo, de forma que cada ODU es específica para un ancho de banda del espectro en concreto. Por ejemplo, en un radioenlace que trabaja en la banda de 18GHz, en un extremo del vano debe colocarse una ODU-18Ghz-TH que transmita en los canales altos de la banda de 18Ghz y reciba en los bajos y una ODU-18GHz-TL en el otro extremo, que trabaje de forma inversa.



FIGURA 12.2: ODU RFU-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

12.2.1. ODU full-outdoor

Hoy en día, se encuentran en el mercado ODUs que también realizan las funciones de las IDUs, haciendo que estas sean prescindibles en la instalación del radioenlace. Estas ODUs se han vuelto muy populares y están siendo muy utilizadas en muchas de las nuevas instalaciones, ya que simplifican el sistema en gran medida, reducen la cantidad de equipos de backup y son más económicas que la pareja IDU+ODU, dando lugar a un importante ahorro tanto en CAPEX como en OPEX.

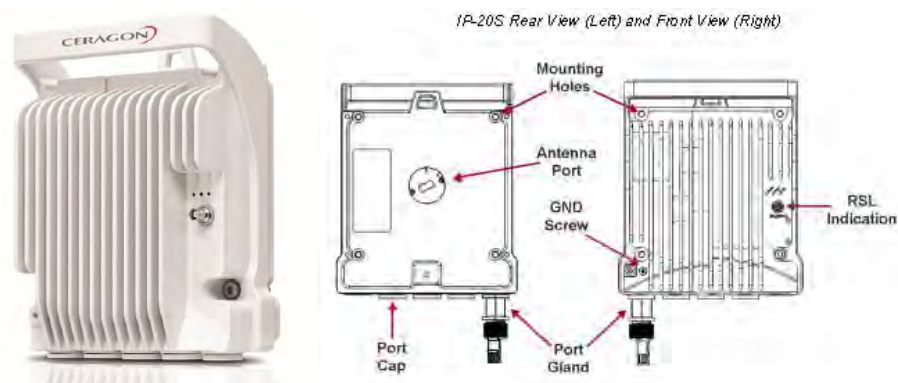


FIGURA 12.3: ODU FULL-OUTDOOR IP20-S DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Las ODUs full-outdoor no sufren apenas de pérdidas de retorno ya al integrar también las funciones de las IDUs, se reducen al máximo las conexiones por cables.

12.2.2. ODU full-outdoor dual-core

Además, desde hace un tiempo, se encuentran en el mercado ODUs full out-door, que cuentan con dos radios. Gracias a esto, es posible aplicar técnicas de diversidad que, duplican la capacidad del sistema, de modo que un solo equipo alcanza capacidades de más de 1Gbps.

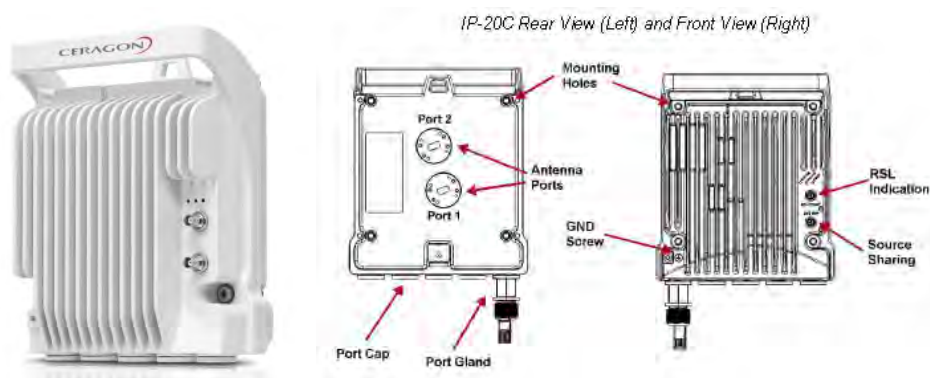


FIGURA 12.4: ODU FULL-OUTDOOR IP20-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Al compartir ambas radios gran parte de la circuitería, estos equipos son muy compactos y presentan gran sencillez a la hora de instalar configuraciones 2+0, 2+2 HSB y 4+0.

Por contra, al compartir circuitería, ambas radios cuentan con el mismo ancho de banda de transmisión y de recepción. Además estos equipos no sirven para configuraciones 1+1 HSB ya que cualquier daño en el equipo, hará que ambas radios dejen de funcionar.

12.3. ANTENAS

El estándar IEEE Std. 145-1983 describe las antenas como “*elementos pasivos que dentro de un sistema de radiocomunicaciones actúan como parte de los transceptores. Estas son el interfaz entre el medio guiado y el espacio libre, y están diseñadas específicamente para radiar y recibir ondas electromagnéticas*”.

Las antenas utilizadas en radioenlaces punto a punto de microondas son parabólicas blindadas por un radomo. Cuentan con una gran ganancia y directividad, y el radomo las protege de las condiciones atmosféricas del exterior.



FIGURA 12.5: ANTENA RACOM PARA RADIENLACES PUNTO A PUNTO DE MICROONDAS.

12.3.1. Componentes de las antenas

Los principales elementos por los que están compuestas las antenas son:

- **Herraje:** Es la estructura metálica encargada de mantener fijada la antena al poste. Los herrajes permiten la inclinación de la antena un pequeño ángulo, tanto en dirección horizontal como vertical, para una correcta alineación de las antenas del radioenlace.

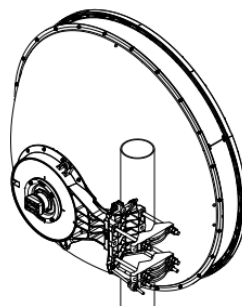


FIGURA 12.6: HERRAJE.

Los fabricantes de antenas, suelen fabricar también herrajes que además permiten una conexión directa de la antena con los equipos de un fabricante concreto. De este modo, quedan conectados a la antena sin necesidad de guiaondas. A este tipo de montaje se le conoce como “direct mount”.

- **Feed o iluminador:** Se sitúa dentro de la parábola. Es el componente encargado de enviar las ondas electromagnéticas al reflector en la transmisión y de recibirlas en la recepción una vez ya han sido reflejadas por el reflector.

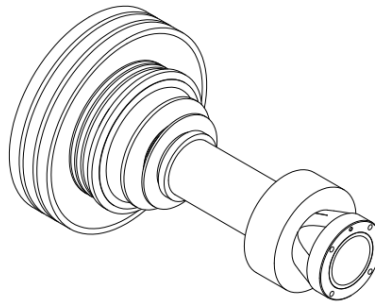


FIGURA 12.7: FEED O ILUMINADOR.

- **Interfaz:** Es un pequeño conductor de ondas electromagnéticas que va situado entre la salida del sistema guiado (ODU, OMT, guiaondas...) y el iluminador. Se encarga de transportar las señales entre el sistema guiado y la antena.

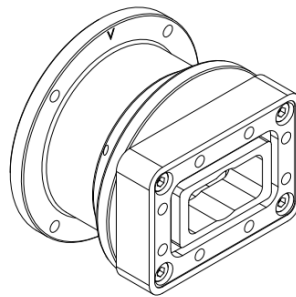


FIGURA 12.8: INTERFAZ.

- **Reflector:** Es la estructura de fibra de vidrio o aluminio recubierta de una capa conductora, en forma de parábola que envuelve al iluminador. En la transmisión recibe las ondas electromagnéticas emitidas por el iluminador y las refleja enviándolas al espacio libre con gran directividad. En la recepción, refleja las ondas transmitidas por la antena transmisora y las envía al iluminador.

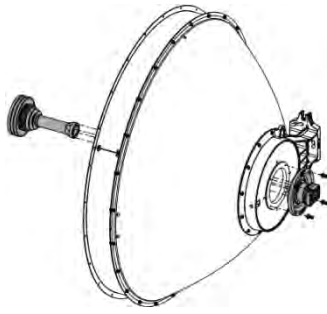


FIGURA 12.9: REFLECTOR DE ANTENA PARABÓLICA.

12.3.2. Parámetros de las antenas

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir una antena son:

- **Diámetro de la parábola:** Este suele variar entre 1 y 6ft (30 – 180cm). Las antenas más grandes consiguen una mayor ganancia pero al ser más voluminosas, el precio del alquiler del espacio en torre aumenta. Además, el uso de antenas de gran tamaño dificulta su instalación, pudiendo obligar al uso de maquinaria especializada cuando esta se realiza en torres de gran altura. Todas estas cosas encarecen la instalación considerablemente.
- **Ancho de banda:** Es el rango de frecuencias para el cual la antena está diseñada para conseguir los parámetros de trabajo óptimos.
- **Ganancia:** Si bien las antenas son elementos pasivos que no aumentan la potencia de la señal, si tienen una ganancia aparente ya que concentran la potencia transmitida en un haz muy delgado. A mayor diámetro de la parábola menor será la apertura del haz y mayor será la directividad, y por lo tanto, mayor será la ganancia. Las antenas más grandes, de 6ft de diámetro, consiguen ganancias de unos 50dB, sin embargo la ganancia también depende de la frecuencia, siendo menor en frecuencias más bajas.
- **Apertura del haz:** Es el ángulo subtendido en la radiación emitida por el lóbulo principal entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad (-3dB) y el foco. Este varía entre 0.5° para las antenas más directivas y 5° para las menos directivas.

- **Directividad:** Es la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección del lóbulo principal y la que radiaría una antena isotrópica. La directividad está estrechamente relacionado con la apertura del haz, siendo las antenas más directivas las que cuentan con aperturas de haz más estrechos.
- **Polarización:** Las antenas están diseñadas para radiar siempre en polarizaciones lineales. Por tanto, la diferencia entre la polarización lineal vertical y horizontal radica en la posición del interfaz.

En radioenlaces sobre los que se apliquen técnicas de diversidad de polarización, si ambas señales han sido acopladas previamente por una OMT, debe colocarse un interfaz de doble polarización. En caso contrario existen antenas con transductores ortomodales que acoplan ambas señales antes de transmitirlas.

- **Impedancia de entrada:** El valor de la impedancia a la entrada de la antena debe ser idéntica al de la ODU a fin de evitar las pérdidas de retorno.
- **Interfaz de entrada:** Es el modelo de entrada que presenta la antena para su conexión con el medio guiado.
- **Diagramas de radiación:** Estos diagramas representan la potencia transmitida en función del ángulo espacial.

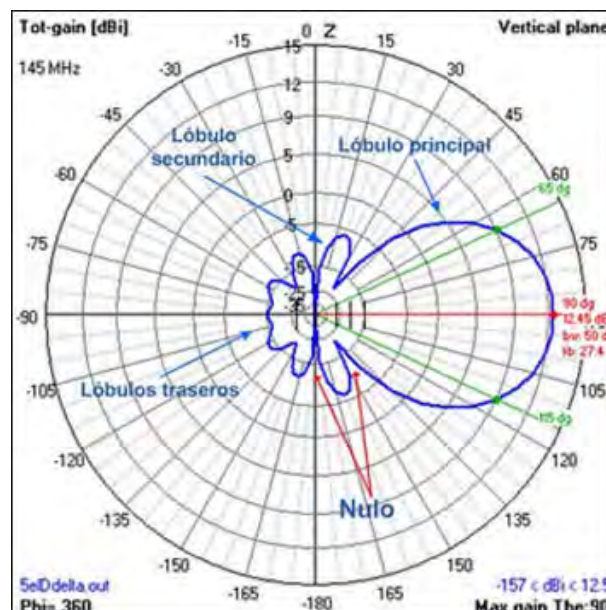


FIGURA 12.10: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA DE 12.46DB DE GANANCIA Y 50DEG. DE APERTURA DE HAZ.

12.4. OMT (ORTHOMODE TRANSDUCER)

Las OMTs o transductores ortomodales son elementos pasivos de conducción de ondas electromagnéticas que actúan como duplexor de polarizaciones. Es decir, sirven para combinar y separar dos señales polarizadas ortogonalmente. En radioenlaces de microondas son utilizados cuando se aplican técnicas de diversidad de polarización.

Las OMT son específicas para un rango de frecuencias determinado y para un modelo de ODU concreta ya que estas cuentan con el herraje de acoplo necesario.

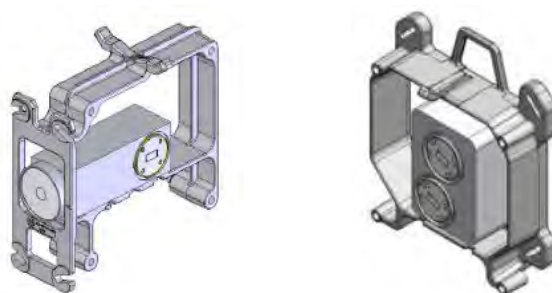


FIGURA 12.11: OMT PARA ODU RFU-C [IZQUIERDA] Y OMT PARA ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C [DERECHA].

Las pérdidas por inserción que introducen están en torno a los 0.4dB dependiendo de la frecuencia.

12.5. SPLITTER

Estos accesorios de conducción de ondas electromagnéticas son elementos pasivos que se encargan de dividir y combinar varias señales a diferentes frecuencias y con la misma polarización. Para separar la señal única recibida en las diferentes señales transmitidas originalmente, los splitters dividen la potencia de la señal recibida en partes iguales y los filtros se encargan de aislar cada una de las señales. Los splitters se utilizan en radioenlaces sobre los que se aplica diversidad de frecuencia.

Como todo conductor de ondas electromagnéticas, los splitters son específicos para un rango de frecuencias. Además, al incorporar los herrajes de acoplo al resto de accesorios del transceptor, deben estar diseñados para un modelo de ODUs concreto.



FIGURA 12.12: SPLITTER DUAL PARA ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C.

Debido a que la división de la potencia de la señal única recibida en la antena se hace por partes iguales, en el caso más común, en el que la señal única está compuesta por dos señales, las pérdidas que introducen los splitter están en torno a los 3.5dB, dependiendo de la frecuencia. 3dB debido a la división equitativa de la potencia y 0.5dB debido a las pérdidas por inserción.

12.6. COUPLER

Los couplers o acopladores son equipos pasivos que al igual que los splitters se encargan de dividir y combinar varias señales en diferentes frecuencias con la misma polarización. Sin embargo como los coupler están destinados a configuraciones con equipos en HSB, realizan un reparto no equitativo de la energía, otorgándole más potencia a la ODU principal.

Como conductor de ondas electromagnéticas, los couplers son específicos para un rango de frecuencias en concreto y al contar con el herraje de acoplo a las radios, también lo son para un modelo de ODU concreta.

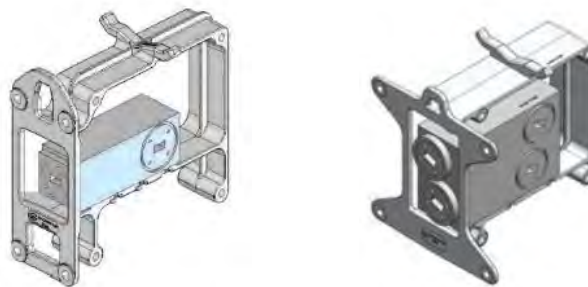


FIGURA 12.13: COUPLER PARA ODUS RFU-C [IZQUIERDA] Y COUPLER DUAL PARA ODUS FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C [DERECHA].

Como la mayor parte del tiempo estará transmitiendo la ODU principal, las pérdidas en los couplers están en torno a 1.5dB para las transmisiones de la ODU principal y en torno a los 6dB para la ODU en HSB, según la frecuencia.

12.7. POE (POWER OVER ETHERNET)

Los PoE son elementos activos que integran la tecnología necesaria para permitir la alimentación de los equipos eléctricos de una red LAN a través del mismo cable Ethernet que se usa para la transmisión de datos.

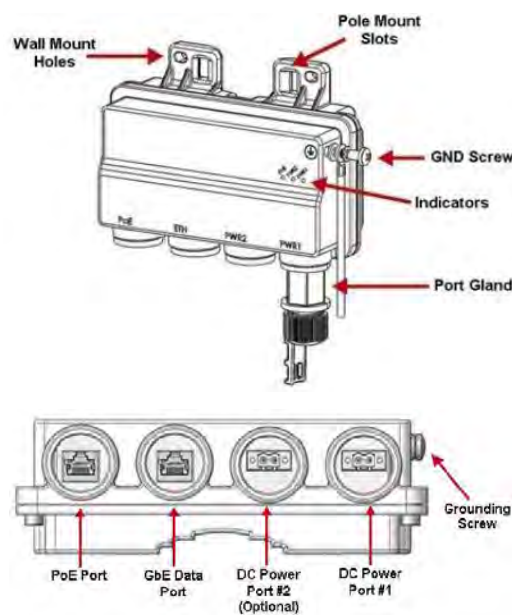


FIGURA 12.14: PoE CERAGON.

La norma IEEE 802.3af es la encargada de establecer las características de diseño que debe seguir esta tecnología y lo hace de tal forma que su uso nunca suponga una reducción de la tasa de transmisión. Además permite coexistir en la misma LAN equipos con y sin PoE ya que la corriente que circula por la LAN se activa de forma automática cuando detecta equipos compatibles y se bloquea cuando no los detecta.

Como la transmisión de datos y de corriente eléctrica circula por el mismo cable, el uso de PoE reduce en gran medida el cableado y hace que no sea necesaria una fuente de alimentación cercana al equipo de forma que la instalación de nuevos equipos se

simplifica. Otra ventaja del uso de PoE es que permite apagar y reiniciar el equipo de forma remota.

Por lo tanto, los PoE suelen instalarse en configuraciones full out-door, en las que alimentar a la ODU es más complejo debido a la gran distancia que puede haber entre esta y la fuente de alimentación más cercana. Sin embargo antes de la instalación hay que tener en cuenta las limitaciones que los PoE presentan con respecto a la longitud de los cables.

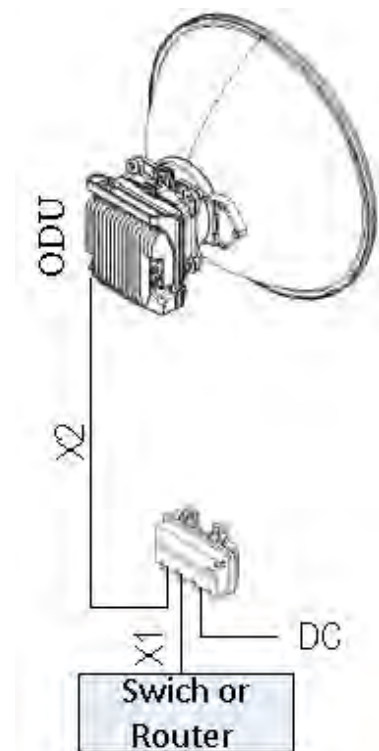


FIGURA 12.15: LIMITACIONES EN LA LONGITUD DE LOS CABLES DEBIDO AL USO DE PoE.

Normalmente la distancia total entre la ODU y el switch o router ($X1 + X2$) no puede superar los 100 metros.

12.8. TRANSCEIVER ÓPTICO SFP

Los transceivers ópticos SFP (Small Form-factor Pluggable), normalmente llamados simplemente SFPs, son compactos transceptores ópticos insertables que actúan como interfaz entre el equipo y la fibra óptica. Se colocan en los puertos que el equipo tiene destinado a ellos y se encargan de transmitir y recibir las señales ópticas que viajan por la fibra.

Los SFP cuentan con conexiones para dos fibras, una de transmisión y otra de recepción y debe utilizarse el mismo modelo a ambos lados de la fibra.



FIGURA 12.16: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS SFP.

Existe una amplia gama de SFPs, cada uno con características particulares que lo hacen idóneo para según cuál sea el escenario en el que se encuentre el medio guiado.

Si el transceiver va colocado en un equipo de exterior, es necesario colocar un modelo de exterior que esté preparado para soportar climatologías adversas.

Atendiendo a la distancia a la que se encuentre el equipo receptor, existen varios modelos de transceivers que trabajan de diferentes maneras, de forma que las señales logran alcanzar distintas distancias en la fibra óptica. De entre los compatibles con la norma IEEE 802.3 Los más comunes son:

SFP 1000BASE-ZX

- **Alcance:** 70km.
- **Ventana de trabajo:** Tercera, 1550nm.
- **Tipo de fibra:** Monomodo.
- **Código de colores:** Amarillo.

SFP 1000BASE-LX:

- **Alcance:** 10km.
- **Ventana de trabajo:** Segunda, 1310nm.
- **Tipo de fibra:** Monomodo.
- **Código de colores:** Azul.

SFP 1000BASE-SX:

- **Alcance:** 2km.
- **Ventana de trabajo:** Primera, 850nm.
- **Tipo de fibra:** Multimodo.
- **Código de colores:** Negro.

El código de colores utilizado para identificar el tipo de SFP viene indicado en el tirador.

12.8.1. Transceivers SFP BiDi

Los SFP BiDi (SFP BiDireccional) realizan multiplexación por longitud de onda (WDM) de forma que consiguen transmitir y recibir por la misma fibra pero en diferentes longitudes de onda. Trabajan sobre la segunda y la tercera ventana en fibras multimodo.

Para conectarlos entre sí, es necesario que uno de ellos transmita en la segunda ventana y reciba por la tercera y que el situado en el otro extremo de la fibra trabaje de forma opuesta.

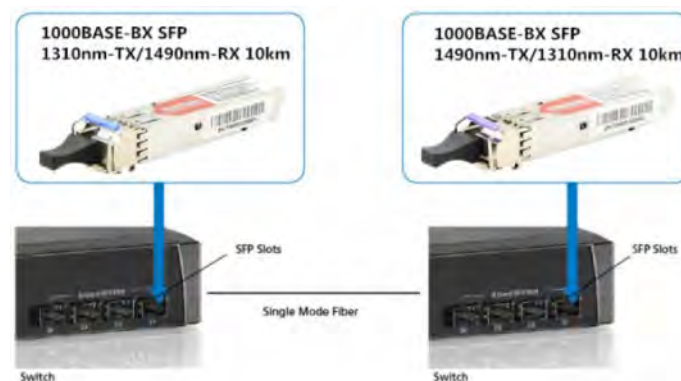


FIGURA 12.17: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS SFP BiDi.

12.8.2. Transceivers CSFP

Los CSFP (Compact SFP) son un tipo de transceiver SFP BiDi capaz de duplicar la capacidad del puerto GigaEthernet. Para ello, cuentan con puertos para dos fibras ópticas.

Los CSFP transmiten por ambas fibras siempre en la tercera ventana y reciben por la segunda. Por lo tanto, los CSFP deben conectarse obligatoriamente a dos SFP BiDi, uno a cada fibra, que reciban en la tercera ventana y transmitan por la segunda.

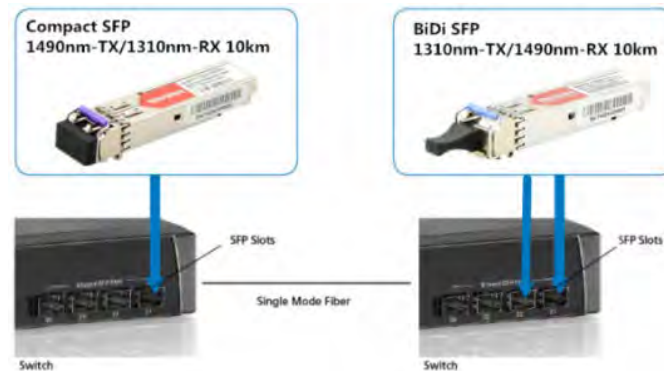


FIGURA 12.18: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS CSFP Y SFP BIDI.

12.9. GUIAONDAS

Cómo los cables coaxiales y de hilos paralelos no son eficientes para las transmisiones de señales radioeléctricas por encima de los 20Ghz ni son compatibles con señales a alta potencia, es necesario el uso de guiaondas para transmitir señales entre antenas y ODU.

Las guiaondas son tubos conductores huecos por cuyo interior circulan las ondas electromagnéticas. Las paredes de estos tubos son capaces de reflejar casi en su totalidad las ondas que inciden sobre ellas de manera que actúan como una barrera que no deja escapar la energía del interior del tubo. Por lo tanto, las ondas se desplazan por el interior del tubo rebotando en las paredes de este hasta llegar al otro extremo sufriendo el mínimo de pérdidas.



FIGURA 12.19: MUESTRAS DE GUIAONDAS.

Para una correcta circulación de las señales electromagnéticas por el interior de la guiaonda, la sección transversal de esta debe ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la portadora. Además en caso de usar guiaondas flexibles, los dobleces no deben ser muy acentuados para evitar que las ondas que circulan por su interior reflejen inadecuadamente y se atenúe la señal.

13- TOPOLOGÍAS DE INSTALACIÓN

Se pueden distinguir hasta tres topologías de instalación atendiendo a la posición de las ODUs e IDUs en los emplazamientos.

13.1. FULL-INDOOR

En esta topología, tanto la IDU como la ODU se encuentran en las instalaciones internas del emplazamiento, quedando únicamente la antena en el exterior. La conexión entre la ODU y la antena se realiza a través de una guiaonda.

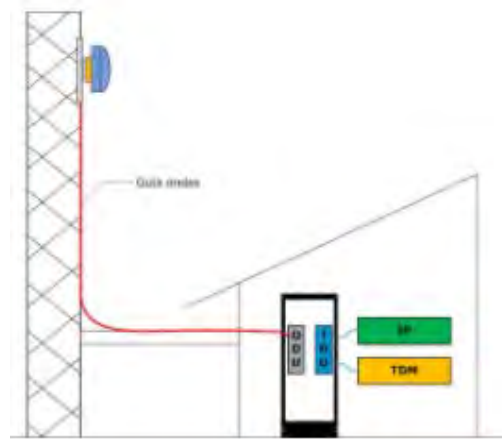


FIGURA 13.1: INSTALACIÓN FULL-INDOOR.

Esta topología se utiliza en emplazamientos de difícil acceso que se encuentran bajo condiciones climatológicas muy adversas. De esta forma se evitan los trabajos de mantenimiento en altura y permite mantener los equipos resguardados.

Pros:

- Fácil acceso a ODUs e IDUs.
- Mantenimiento sencillo y barato al evitar trabajos en altura.
- Equipos resguardados de la intemperie.
- Permite el uso de equipos full-outdoor.

Contras:

- Requiere de largas guiaondas, las cuales introducen grandes pérdidas.
- Ocupa espacio en el rack.

13.2. SPLIT-MOUNT

En este caso, únicamente la IDU se encuentra en las instalaciones interiores del emplazamiento. La ODU queda en el exterior junto a la antena, normalmente acopladas mediante un montaje direct-mount. La conexión entre la IDU y la ODU se realiza a través de un cable coaxial.

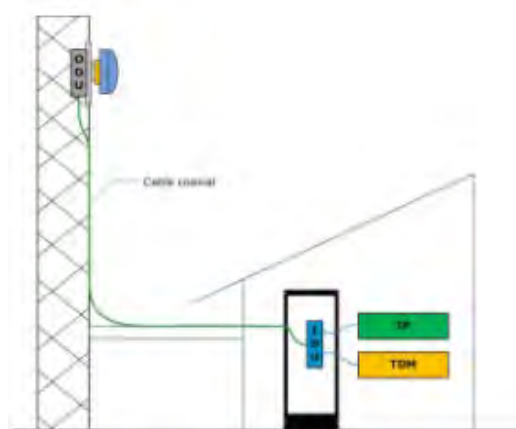


FIGURA 13.2: INSTALACIÓN SPLIT-MOUNT.

Es el montaje más habitual en radioenlaces troncales ya que las IDUs de estos emplazamientos suelen gestionar varias ODUs para distintos radioenlaces. Con esta topología de instalación, las ODUs acopladas a las antenas reducen en gran medida las pérdidas y la IDU en el interior tiene un acceso sencillo que facilita la gestión.

Pros:

- Fácil acceso a IDU.
- Cableado sencillo que apenas introduce pérdidas.
- Permite conexión directa entre la ODU y la antena, de forma que las pérdidas de retorno se reducen.

Contras:

- Acceso a ODU complicado, requiriendo de trabajos en altura, lo que implica personal preparado y un mayor coste.
- ODUs en el exterior expuestas a la intemperie.
- Aunque no mucho, ocupa espacio en el rack.

13.3. FULL-OUTDOOR

En esta topología se requiere de una ODU full-outdoor que queda en el exterior junto a la antena, normalmente acoplada a esta mediante un montaje direct-mount.

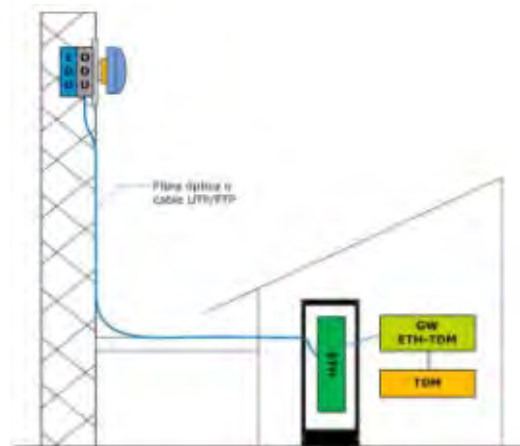


FIGURA 13.3: INSTALACIÓN FULL-OUTDOOR.

Es la topología más utilizada en redes de agregación. Gracias a las ODUs full-outdoor esta topología ha ido ganando adeptos ya que reducen al máximo las pérdidas y la gran robustez que presentan los equipos de hoy en día hacen que apenas requieran mantenimiento.

Pros:

- Conexión directa entre ODU y antena que reduce al máximo las pérdidas
- Poco cableado y sencillo que apenas introduce pérdidas.
- Permite el uso de ODUs full out-door.
- Fácil instalación.
- No ocupa espacio en el rack.

Contras:

- Difícil acceso a equipos. Requiere de trabajos en altura que encarecen el mantenimiento debido a la necesidad de contar con personal cualificado.
- Todos los equipos están expuestos a la intemperie.

14- GESTIÓN DE EQUIPOS

Previo a la instalación de los equipos, es necesario acceder a ellos para configurarlos y comprobar que funcionen correctamente. Sin embargo, una vez estos han sido instalados, debido al crecimiento y la evolución que la red experimenta es muy común tener que volver a acceder a ellos para modificar sus configuraciones. Según sea el acceso a ellos se distinguen tres tipos de gestión:

- **Gestión local:** Este tipo de gestión suele realizarse únicamente para la configuración y pruebas iniciales de los equipos. Es decir, cuando aún no está instalado y por lo tanto “están a mano”. Consiste en una conexión directa al equipo a través del puerto RJ-45 de mantenimiento.
- **Gestión en banda (In-Band Management):** Es la más común para redes con radioenlaces. El acceso al equipo es de forma remota a través de la red, sin necesidad de una conexión independiente. El tráfico de gestión circula a través de una V-LAN, la cual es accesible a través de los puestos de operación. El acceso remoto suele hacerse vía Telnet (puerto 23 de TCP), SSH (puerto 22 de TCP) o a través del puerto serie
- **Gestión fuera de banda (Out-Band Management):** Este tipo de gestión no es práctico en redes con radioenlaces. El acceso remoto al equipo es por el puerto RJ-45 de mantenimiento a través de una red paralela dedicada a la gestión.

15- PREVENCIÓN FRENTE AVERÍAS

Aunque los equipos de hoy en día son bastante robustos y están preparados para soportar las climatologías adversas a las que se enfrentan cuando se encuentran a la intemperie, los equipos activos son susceptibles de averías por diversos motivos.

Uno de los principales motivos de avería son los transitorios en el sistema de alimentación. Por ello, es importante contar con una instalación eléctrica segura e instalar los equipos correctamente, respetando la toma a tierra.

Una avería en un equipo puede dar lugar a pérdidas en la capacidad del sistema o incluso a la pérdida total de conexión entre ambos puntos del radioenlace. A consecuencias de esto, se pueden dejar a grandes zonas sin cobertura.

Por esto, es muy importante estar preparado frente a estas situaciones y así poder reducir al máximo los inconvenientes causados a los usuarios de la red. A continuación se enumeran las principales medidas a tomar en materia de prevención frente averías:

- **IDUs con redundancia:** Esta medida es recomendada para radioenlaces troncales y nodos de los que parten varios radioenlaces. Muchas IDUs cuentan con elementos redundados como memorias, alimentaciones, módems... a fin de que si alguno de estos elementos se avería, el redundante empieza a trabajar de forma que la pérdida de conexión apenas dura unos segundos.
- **ODUs en HSB (Hot Stand By):** Esta medida suele tomarse en radioenlaces troncales situados en escenarios adversos donde la probabilidad de avería es más elevada. Consiste en colocar ODU de backup conectadas directamente a la antena transmisora de modo que si la ODU principal deja de funcionar durante un breve periodo de tiempo previamente establecido, el equipo de backup empezará a transmitir inmediatamente. En estas configuraciones es necesario el uso de couplers para poder acoplar el equipo de backup al radioenlace principal. Además es necesario un switch que conmute los datos entre la ODU principal y la que se encuentra en HSB.
- **Stock de backup:** Esta medida es aconsejable para grandes redes. Consiste en tener un stock de equipos de repuesto para poder sustituirlos por los equipos

averiados a la mayor brevedad posible. Es importante realizar pruebas a los equipos adquiridos como backup una vez se reciban ya que así se evita sustituir un equipo averiado por otro que tampoco funcione y además, en caso de que queden almacenados mucho tiempo se evita que pierdan la garantía. Es aconsejable reducir el número de bandas de trabajo de los radioenlaces de la red en la medida que sea posible, de modo que con unos pocos equipos de backup queden respaldados la mayor cantidad de radioenlaces.

- **Contrato de reposición inmediata:** Cuando la red a la que se quiere dar cobertura de backup es pequeña, puede ser aconsejable contratar un mantenimiento con SLA (Service Level Agreement) que incluya un servicio de reposición NBD (Next Business Day). Es decir, la empresa que ofrece este servicio, normalmente el propio distribuidor, ofrece una sustitución del equipo averiado como máximo al siguiente día laboral.

ANEXO V

PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN

16- CANAL DE TRANSMISIÓN

El canal de transmisión es la porción del espectro electromagnético en el que se transmite. Este queda definido por una frecuencia central y un ancho de banda. Además, cada canal puede ser utilizado simultáneamente tanto en polarización lineal vertical como horizontal.

Los canales disponibles para el Servicio Fijo están recogidos en la publicación de la SESIAD titulada como “Bandas y canalizaciones para el Servicio Fijo de banda ancha”.

16.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BANDAS.

Las bandas de transmisión son agrupaciones de canales adyacentes con características en común, que ofrecen soluciones similares. Por lo tanto, cada banda tiene diferentes características con lo que se ofrecen diferentes posibles soluciones.

Sin embargo, cada red también tiene ciertas características propias a las que el radioenlace debe amoldarse. Por ello, la selección de banda no debe limitarse a criterios de disponibilidad y físicos, sino que también deben tenerse en cuenta criterios económicos y de diseño de la red en propiedad:

Criterios de disponibilidad: Persiguen el uso las bandas disponibles a fin de evitar interferencias con otros radioenlaces:

- **Bandas y Canalizaciones del CNAF:** Tanto las frecuencias como los anchos de banda de las portadoras deben estar indicadas en las Notas de Uso para el Servicio Fijo de banda ancha.
- **Disponibilidad por saturación:** En ocasiones la banda deseada no dispone de canales libres. Esto suele ocurrir en bandas con pocos canales disponibles y en bandas con preferencias de uso por parte otros servicios. En estos casos es necesarios cambiar a otra banda con canales disponibles.

Criterios físicos: Es necesario tenerlos en cuenta para que el radioenlace cumpla con los requisitos de calidad en el escenario en el que se encuentra:

- **Alcance:** Las frecuencias más bajas tienen mayor alcance que las frecuencias más altas. La banda seleccionada debe ser lo suficientemente baja para que el radioenlace cumpla con los requisitos de calidad.
- **Sensibilidad frente a condiciones adversas:** Las frecuencias más altas son más sensibles frente a lluvias y propagaciones multitrayecto. Por lo tanto, el uso de bandas bajas es recomendable en vanos situados en zonas de abundantes lluvias o en vanos compuestos en gran medida por agua.

Criterios económicos: Son de vital importancia, pues toda empresa persigue un fin económico:

- **Coste de la legalización:** Este coste depende de la banda y de la canalización. Como las bandas más altas son más económicas, debe tratarse de utilizar una banda lo más alta posible para que entre en un rango de coste menor. También debe tratarse de explotar la modulación para lograr la capacidad deseada con un ancho de banda menor.
- **Uso de bandas más comunes:** Limitarse al uso de las bandas más utilizadas por la comunidad de usuarios del espectro electromagnético, permite encontrar equipos más económicos y con mayor disponibilidad.

Criterios del diseño de la red en propiedad: Cada nuevo radioenlace debe diseñarse acorde a ciertos criterios de la red en propiedad a fin de facilitar y abaratar la administración de los recursos de esta.

- **Uso de las mismas bandas:** Es aconsejable autolimitarse al uso de dos, tres o cuatro bandas, atendiendo al tamaño de la red, con las que se abarquen todas las longitudes de vanos posibles. De este modo puede reducirse en gran medida el stock de backup ya que con unos pocos equipos extra se tendrán repuestos para toda la red. Estas bandas deben seleccionarse con mucho cuidado tratando que aporten gran libertad de diseño. Una buena selección de bandas sería: 26Ghz, 18GHz y 6-Alta.

- **Expectativas de crecimiento:** En el diseño de radioenlaces debe tenerse en cuenta que la capacidad que en un primer momento se necesita es muy probable que con el tiempo aumente. Por esto, elegir una banda en la que el crecimiento no sea posible por ejemplo, por saturación del espectro o por no permitir anchos de banda mayores, puede obligar a que en el futuro se necesite un cambio de banda, el cual requiere de una nueva inversión en equipos, antenas e instalaciones.

16.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CANALES

Cada banda dispone de varios canales, por lo que es importante seguir ciertos criterios para seleccionar entre los canales disponibles, el que mejor rendimiento ofrezca:

- **Canales disponibles:** A pesar de que cada banda cuenta con varios canales, algunos están ocupados por otros servicios tanto a nivel local o como a nivel nacional. Toda la información sobre los canales disponibles se encuentra en el documento publicado por la SESIAD: “Bandas y canalizaciones para el Servicio Fijo de banda ancha”.
- **Semibanda:** La duplexación utilizada en la mayoría de radioenlaces del Servicio Fijo es FDD. Por lo tanto, cada canal está compuesto por dos frecuencias, una de ellas, en un sentido, situada en la semibanda baja y la otra, en sentido opuesto, en la semibanda alta. Al canal situado en la semibanda baja se denomina canal X, y su par en la semibanda alta se le denomina canal X'. Cuando se quiere referir al par de canales se usa la nomenclatura canal X/X'. Dentro de una banda, la distancia en el espectro entre cada canal y su par en la semibanda opuesta, es siempre la misma.

Con el objetivo de evitar interferencias entre equipos situados en el mismo emplazamiento, todos los equipos colocados que transmitan en la misma banda, deben hacerlo también en la misma semibanda. El MINETAD pone a disposición de los usuarios, la herramienta de uso público IdeSemibanda, la cual identifica la semibanda de transmisión dadas unas coordenadas y una banda.

- **Uso de canales bajos:** Es preferiblemente el uso de los canales más bajos debido a que las portadoras en frecuencias más bajas logran mayor alcance.
- **Espaciar los canales utilizados:** En aquellos emplazamientos en los que se vayan a utilizar varios canales de la misma banda, se aconseja dejar al menos un canal libre entre canales utilizados, con el objetivo de evitar interferencias de canal adyacente y además poder reservar ancho de banda para futuras ampliaciones de canalización.
- **Uso de la polarización vertical:** Cada canal puede ser utilizado tanto en polarización lineal horizontal como vertical, sin embargo esta última reduce los efectos destructivos de los hidrometeoros y las propagaciones multitrayecto. La polarización horizontal debe utilizarse únicamente en los casos que no haya disponibilidad de canales en polarización vertical.

17- POLARIZACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas son el resultado de la propagación de un campo eléctrico y un campo magnético que oscilan perpendiculares entre si y en fase. Estas oscilaciones, además son perpendiculares a la dirección de propagación.

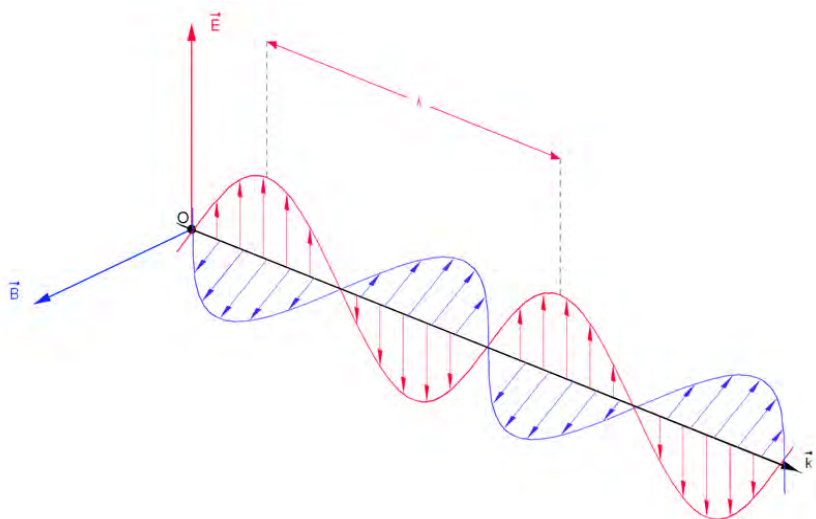


FIGURA 17.1: INSTALACIÓN FULL-OUTDOOR.

Las ondas electromagnéticas son ondas transversales. Es decir, tanto la magnitud del campo eléctrico como la del campo magnético pueden oscilar en varias direcciones, aunque estas oscilaciones son siempre perpendiculares entre sí, en fase y perpendiculares a la dirección de propagación.

Cuando hablamos de una u otra polarización de una onda electromagnética, nos estamos refiriendo siempre a la polarización del campo eléctrico, y por lo tanto su manera de oscilar.

17.1. TIPOS DE POLARIZACIÓN

La forma de oscilar del campo eléctrico depende de los valores que este tome a medida que la onda electromagnética se desplace por el medio. Según sean, se pueden diferenciar tres tipos de polarizaciones:

- **Polarización lineal:** El campo eléctrico (y por lo tanto el campo magnético también) oscila siempre en el mismo plano. Si estas oscilaciones se dan en un plano paralelo a la superficie terrestre, se le denomina polarización horizontal. Si se dan en un plano perpendicular a la superficie terrestre, se le denomina polarización vertical. Y si se dan en cualquier otro plano se le llama oblicua o vertical.
- **Polarización circular:** Las oscilaciones del campo eléctrico van rotando en una dirección sin variar el módulo de la intensidad. Es decir, el vector que representa al campo eléctrico en el espacio, va describiendo con su punta una espiral circular a medida que se desplaza por el medio. Según la dirección en la que roten las oscilaciones puede ser polarización circular a izquierdas o a derechas.
- **Polarización elíptica:** En este caso, las oscilaciones van rotando a izquierdas o a derechas, tal y como ocurre en la polarización circular, pero el módulo de la intensidad disminuye en ciertas posiciones de la rotación de forma que la espiral que forma el vector del campo eléctrico tiene forma elíptica.

La figura 17.2 muestra en color azul la espiral que dibujaría el vector del campo eléctrico en su desplazamiento por el medio y en color rosa la forma de esta espiral al cortar el plano y que da nombre a la polarización:

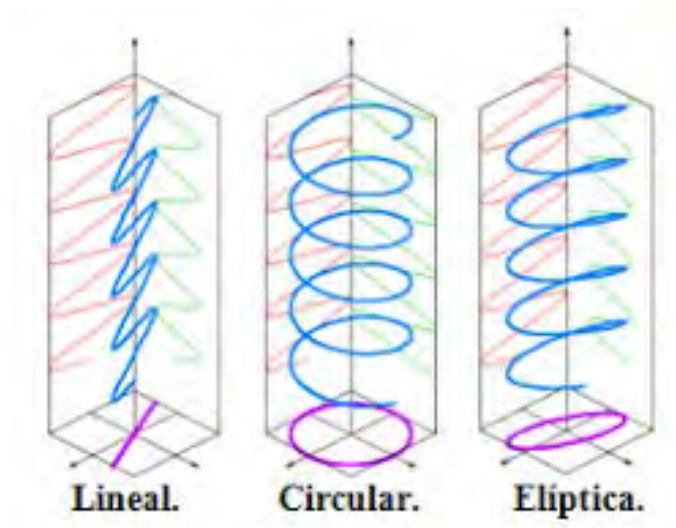


FIGURA 17.2: FORMA DISEÑADA POR EL VECTOR CAMPO ELÉCTRICO EN LA PROPAGACIÓN DE ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

17.2. ESTUDIO DE LAS POLARIZACIONES

Para el estudio de las polarizaciones de las ondas electromagnéticas, lo más sencillo es dividir el vector del campo eléctrico en sus componentes X e Y.

Ecuación 17.1:

$$\mathbf{E}_0 = E_x \mathbf{u}_x + E_y \mathbf{u}_y$$

Donde:

\mathbf{E}_0 : Es el vector campo eléctrico.

E_x : Es el valor del campo eléctrico en la coordenada X. [Ecuación 17.2]

E_y : Es el valor del campo eléctrico en la coordenada Y. [Ecuación 17.3]

Ecuación 17.2:

$$E_x = E_{0x} \cos(\omega t - kz)$$

Donde:

E_{0x} : Es el valor absoluto del campo eléctrico en la coordenada X.

$\cos(\omega t - kz)$: Representa la variación del valor del campo eléctrico en el tiempo (t) y en el espacio (z).

Ecuación 17.3:

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kz + \phi)$$

Donde:

E_{0y} : Es el valor absoluto del campo eléctrico en la coordenada Y.

$\cos(\omega t - kz + \phi)$: Representa la variación del valor del campo eléctrico en el tiempo (t) y en el espacio (z) e introduce un desfase (ϕ) con respecto a la coordenada X.

Si se introducen las ecuaciones 17.2 y 17.3 en la ecuación 17.1, y se desarrollan para el punto $z = 0$, se obtiene la ecuación 17.4, la cual coincide con la ecuación de una elipse.

Ecuación 17.4:

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{E_{0y}}\right)^2 - 2 \frac{E_x E_y}{E_{0x} E_{0y}} \cos(\phi) = \sin^2(\phi)$$

En el caso de polarizaciones lineales, el desfase (ϕ) entre las componentes X e Y es nulo. Por lo tanto, al introducir esta condición ($\phi = 0$) en la ecuación 17.4, obtenemos la ecuación 17.5, que coincide con la ecuación de una recta.

Ecuación 17.5:

$$E_x = \frac{E_{0x}}{E_{0y}} E_y$$

Para las polarizaciones circulares, el desfase (ϕ), que se da entre ambas componentes, es $\phi = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$ donde $n = \pm 0, 1, 2, \dots$. Además, como se ha visto anteriormente, el valor del campo eléctrico en las dos componentes es el mismo ($E_{0x} = E_{0y}$). Si se

introducen estas dos condiciones en la ecuación 17.4, obtenemos la ecuación 17.6, que coincide con la ecuación de una circunferencia.

Ecuación 17.6:

$$E_x^2 + E_y^2 = E_0^2$$

En conclusión, se puede decir que las polarizaciones circular y lineal son casos particulares de la polarización elíptica, que es el caso general. De hecho, en la práctica no se dan polarizaciones circulares y lineales perfectas.

La siguiente figura muestra como varía la polarización en función del desfase (ϕ) entre componentes, para un caso con $E_{0x} = E_{0y}$.

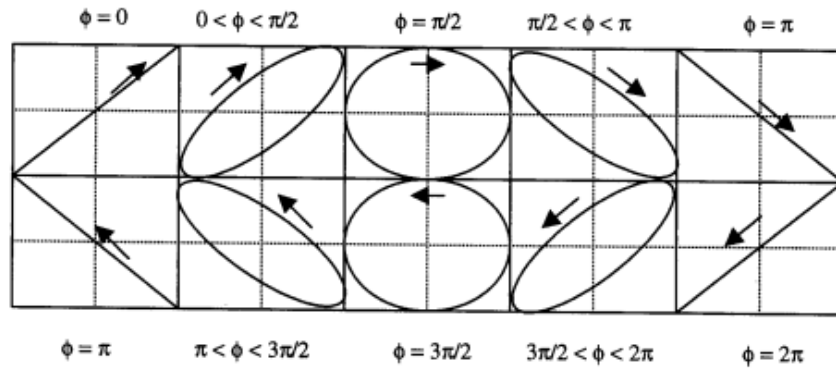


FIGURA 17.3: TIPOS DE POLARIZACIÓN EN FUNCION DEL DESFASE ENTRE COORDENADAS.

17.3. COMPONENTES POLAR Y COPOLAR

En la práctica, conseguir una polarización lineal perfecta es imposible. Esto es debido a que los equipos de transmisión y las antenas no consiguen una transmisión polarizada linealmente perfecta y a que durante la propagación de las ondas, estas sufren ciertas deformaciones que hacen que se de un pequeño desfase entre las componentes X e Y del vector del campo eléctrico (ϕ).

Por lo tanto, aunque realmente se esté transmitiendo una onda con polarización elíptica muy estrecha, teóricamente se le considera una polarización lineal en el sentido deseado (vertical u horizontal), a la que se le designa como componente copolar, acompañada de una componente indeseada, mucho más débil y ortogonal a esta, a la que se le conoce como componente contrapolar.

18- MODULACIONES

Podemos definir la modulación como el conjunto de técnicas empleadas con el objetivo de hacer posible la transmisión de información a través del canal y optimizarla. Tanto la modulación como su posterior demodulación se realizan en las IDUs.

Estas técnicas consisten en hacer variar ciertos parámetros de la señal portadora, que es una onda de alta frecuencia y gran potencia, capaz de viajar largas distancias pero sin información, con respecto a otra denominada como señal moduladora, que es una onda de baja frecuencia, incapaz de viajar largas distancias debido a los fuertes desvanecimientos que sufre, pero que cuenta con la información que debe transmitirse por el canal. De esta forma, se obtiene la señal modulada, la cual contiene la información a transmitir y cuenta con la frecuencia y potencia de la señal portadora que le permite viajar largas distancias.

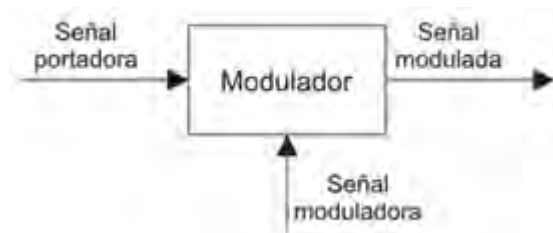


FIGURA 18.1: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MODULACIONES.

Gracias a la modulación, además de hacer posible la transmisión de datos entre ambos equipos, se consiguen los siguientes beneficios:

- Aumento de la capacidad de transmisión debido a la superposición de datos en la onda portadora.
- Reducción del tamaño de las antenas gracias al mayor rendimiento de transmisión que ofrece la onda portadora.
- Evita interferencias. Al viajar toda la información a la misma frecuencia es posible recuperarla mediante filtros aunque se mezcle con otras frecuencias durante la propagación.
- Permite duplexación FDD.

- Facilita la gestión del espectro electromagnético haciendo que este sea aprovechado de la manera más óptima posible.

Las modulaciones más comunes que realizan hoy en día las ODUs son PSK (desde BPSK hasta 8-PSK) y QAM (desde 16QAM hasta 2048QAM). Con estas se consigue un abanico de representación de símbolos que va desde los 2 símbolos hasta los 2048. Con estas modulaciones se consiguen capacidades de hasta 550Mbps cuando se realizan sobre anchos de banda de 56MHz.

18.1. MODULACIONES DIGITALES BÁSICAS

Existen diversos tipos de modulaciones digitales, sin embargo todas ellas se basan en tres modulaciones básicas:

- **ASK (Amplitude-Shift Keying):** Representa los datos digitales como variaciones en la amplitud de la señal modulada. Es decir, a cada símbolo se le asigna una amplitud diferente en la señal modulada. La modulación ASK responde a la siguiente expresión:

Ecuación 18.1:

$$V_{ASK} = A_{0/1} \cdot \text{Sen}(2\pi ft)$$

- **FSK (Frequency-Shift Keying):** Representa los datos digitales como variaciones en la frecuencia de la señal modulada. Es decir, cada símbolo se representa en la señal modulada con una frecuencia diferente. La ecuación 18.2 indica la expresión a la que responde la modulación FSK.

Ecuación 18.2:

$$V_{FSK} = A \cdot \text{Sen}(2\pi(f \pm \Delta f)t)$$

- **PSK (Phase Shift Keying):** Representa los datos digitales como variaciones en la fase de la señal modulada. Es decir, cada símbolo se representa con un cambio de fase. La modulación PSK responde a la expresión indicada en la ecuación 18.3.

Ecuación 18.3:

$$V_{PSK} = A \cdot \text{Cos}(2\pi ft + \theta)$$

La figura 18.2 muestra el resultado de modular una misma señal con las modulaciones básicas ASK, FSK y PSK

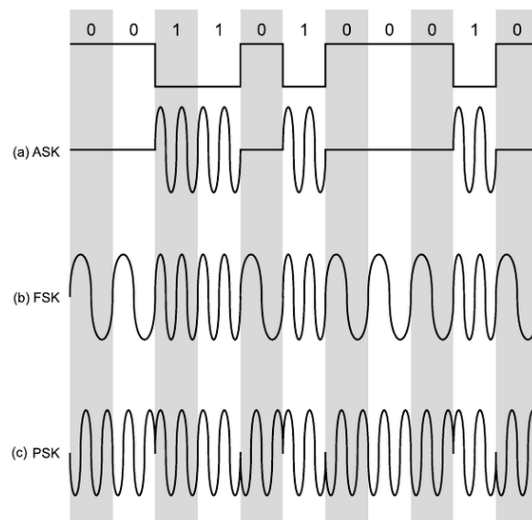


FIGURA 18.2: EJEMPLO DE MODULACIONES ASK, FSK Y PSK.

18.2. MODULACIONES PSK

Las modulaciones PSK más habituales son BPSK (Binary PSK), QPSK (Quadrature PSK) y 8-PSK, que representa dos (0 y 1), cuatro (00, 01, 10 y 11) y ocho (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 y 111) símbolos respectivamente. La figura 19.3 muestra los diagramas de constelación de estas modulaciones.

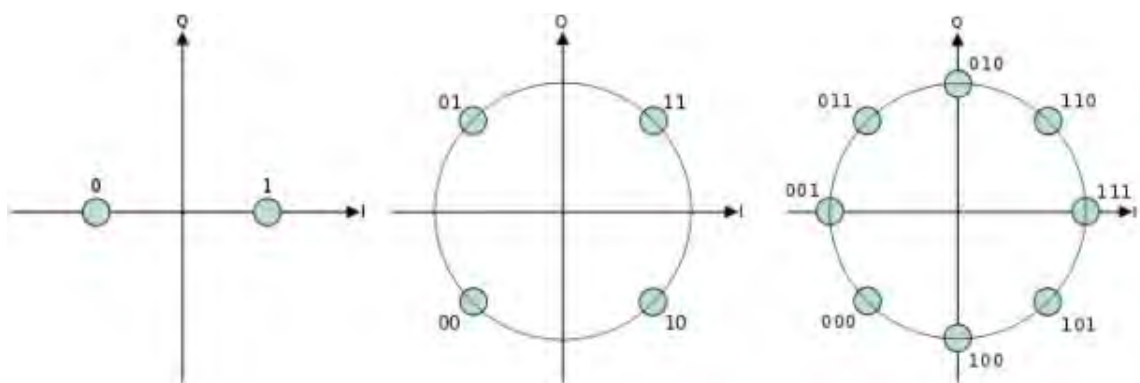


FIGURA 18.3: DIAGRAMAS DE CONSTELACIÓN DE LAS MODULACIONES BPSK, QPSK Y 8-PSK.

Cada punto representa a un símbolo, y este está representado por uno, dos y tres bits respectivamente. Para el caso de la modulación QPSK, de la ecuación 18.3, se puede observar que los valores de θ asignados a cada símbolo son:

- $\pi/4$ rad. para el símbolo 11
- $-\pi/4$ rad. para el símbolo 10
- $3\pi/4$ rad. para el símbolo 01
- $-3\pi/4$ rad. para el símbolo 00

Por lo tanto la expresión a la que responde la modulación QPSK es:

Ecuación 18.4:

$$A * \cos(2\pi f t \pm (2n - 1) \frac{\pi}{4})$$

Con $n \in \{1,2\}$

La asignación a cada fase de los bits que representa sigue un código de Gray. Este es un código cíclico que recibe su nombre en honor a su inventor, el físico e investigador de los laboratorios Bell, Frank Gray. Este código hace que entre símbolos adyacentes sólo varíe un bit, de forma de que si por error se recibe un símbolo adyacente al transmitido, que es el caso de error más probable, sólo se recibirá un bit erróneo, consiguiendo de esta forma reducir la tasa de errores en el código recibido.

Las modulaciones PSK son muy utilizadas, no solo en radioenlaces punto a punto, sino que también en transmisiones digitales por satélite de televisión y radio. Las variantes QPSK y 8-PSK son las más extendidas para radioenlaces de hasta 50Mbps de capacidad debido a su sencillez de procesamiento y a la alta protección frente a errores que ofrece debido a la distancia entre símbolos que presentan. La modulación BPSK está en desuso ya que consume el mismo ancho de banda que QSPK y ofrece menos capacidad.

Para radioenlaces que requieran de capacidades mayores, existen modulaciones como QAM que ofrecen mejores prestaciones que las variantes PSK de mayor capacidad.

18.3. MODULACIONES QAM

Las modulaciones por amplitud en cuadratura (QAM) resultan de la combinación de las modulaciones ASK y PSK. Para ello, realiza dos modulaciones en Doble Banda Lateral (DSB), que es una variante de la modulación ASK, en dos portadoras a la misma

frecuencia desfasadas 90° . De esta forma, se transportan dos señales de ancho de banda similar sin necesidad de duplicar el ancho de banda en el espectro. Gracias a la propiedad de ortogonalidad, el demodulador es capaz de separarlas y demodularlas independientemente.

La modulación DBS, es una modulación ASK con portadora suprimida, a fin de ahorrar en potencia. Para ello simplemente multiplica la señal moduladora por la portadora, como muestra la ecuación 18.5. Por contra, el ancho de banda requerido por esta modulación es el doble que el de la señal moduladora, por lo tanto, requiere de un mayor ancho de banda en el espectro.

Ecuación 18.5:

$$V_{DBS} = X(t) \cdot A \cdot \text{Sen}(2\pi ft)$$

La figura 18.4 muestra los diagramas de constelación de las modulaciones 4QAM, 16QAM y 64QAM.

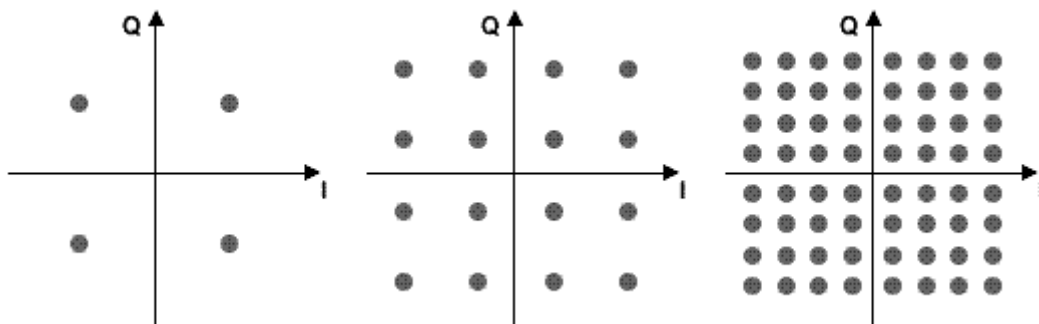


FIGURA 18.4: DIAGRAMAS DE CONSTELACIÓN DE LAS MODULACIONES 4QAM, 16QAM Y 64QAM.

Es importante destacar que los símbolos son equidistantes y cada uno de los M símbolos de una modulación MQAM está representado por $N = \log_2(M)$ bits.

18.4. MODULACIÓN ADAPTATIVA

Para una misma potencia de transmisión y ancho de banda, cuanto mayor número de símbolos represente una modulación, más juntos se encontrarán en el diagrama de constelación y por lo tanto mayor será la probabilidad de error. Esto hace a las modulaciones de base elevada, como 256QAM y superiores, muy susceptibles al ruido.

Teniendo en cuenta que los radioenlaces se encuentran en el exterior, donde las condiciones atmosféricas no siempre acompañan y encontramos diferentes elementos atmosféricos como la humedad del ambiente, la lluvia, la nieve o el viento, que introducen pérdidas al canal, el sistema puede sufrir de continuos desvanecimientos temporales.

Para evitar que esto ocurra, se utilizan algoritmos de modulación y codificación adaptativa (ACM) que cambian a una modulación de menor base cuando la tasa de error aumenta, con tal de mantener un BER adecuado.

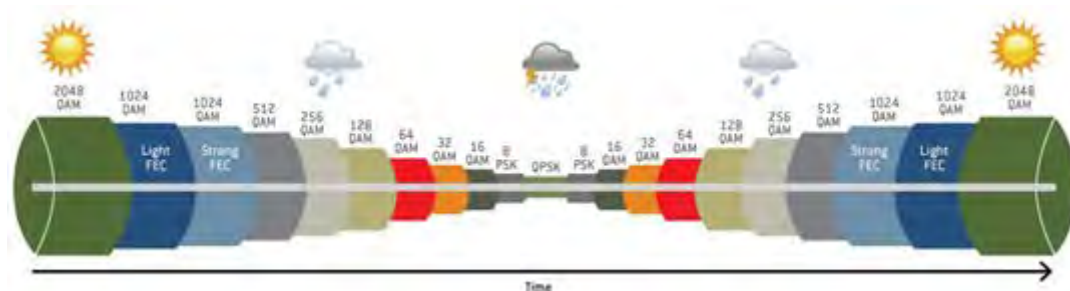


FIGURA 18.5: EJEMPLO DE MODULACIÓN ADAPTATIVA.

Algunas de las ventajas que proporciona el uso de la modulación adaptativa son:

- Evita desvanecimientos del sistema.
- Optimización del ancho de banda utilizado.
- Incremento de la capacidad sobre un ancho de banda.
- Ahorro de potencia gracias a la optimización por la adaptación a los parámetros de calidad.
- Gracias al QoS se permite una gestión inteligente para garantizar el tráfico de alta prioridad como puede ser la transmisión de voz.

18.4.1. Algoritmo Full-Range Dynamic ACM

El algoritmo ACM más utilizado es el Full-Range Dynamic ACM, el cual realiza un ajuste de modulación paso a paso.

Por ejemplo, en el caso de un radioenlace que se encuentre trabajando bajo un perfil 512QAM@28Mhz para lograr una capacidad de 200MBps, si el BER que le envía el receptor aumenta hasta alcanzar cierto valor, el sistema empezará a utilizar un perfil 256QAM@28Mhz, que le permite lograr una capacidad de 180MBps. El radioenlace se mantendrá trabajando bajo este perfil mientras el BER se mantenga en cierto rango. Si el BER aumenta y alcanza el tope del rango, el sistema pasará a trabajar bajo un perfil 128QAM@28Mhz. Por el contrario, si el BER mejora y alcanza el límite inferior, volverá a trabajar bajo el perfil 512QAM@28Mhz.

El BER es siempre facilitado por el equipo receptor al equipo transmisor. De este modo, ambos equipos pueden estar trabajando bajo distinto perfil.

ANEXO VI

CÁLCULO DE RADIOENLACES

19- CÁLCULO DE RADIOENLACES

El cálculo de un radioenlace es algo totalmente obligatorio para cerciorarse del correcto funcionamiento de este una vez sea instalado, al menos de forma teórica.

Con estos cálculos es posible obtener de forma teórica la potencia de la señal recibida y la disponibilidad del radioenlace teniendo en cuenta las pérdidas causadas por los diferentes agentes que envuelven al sistema.

19.1. MÉTODOS DE CÁLCULO DE RADIOENLACES

El cálculo de un radioenlace puede realizarse mediante un balance de potencias, que es un cálculo rápido y aproximado de la potencia de recepción y su posterior comparación con la sensibilidad del equipo receptor, o mediante una simulación con alguna herramienta de diseño de radioenlaces que realice los cálculos relacionados con la propagación de ondas electromagnéticas en radioenlaces terrestres de microondas punto a punto, indicados en las diferentes recomendaciones de la ITU-R. Estos últimos son mucho más completos y aportan el valor de una mayor cantidad de parámetros de calidad.

19.1.1. Balance de potencias

El balance de potencias se limita a comprobar que la potencia en el receptor es mayor que la sensibilidad del equipo receptor:

Ecuación 19.1:

$$P_{rx} \geq S$$

Donde:

P_{rx} : Es la potencia en el receptor. [Ecuación 19.2]

S : Es la sensibilidad del equipo receptor para un ancho de banda y una modulación.

Ecuación 19.2:

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{tx} + G_{tx} - PL - \sum L_o + G_{rx} - L_{rx} - FM \text{ [dB]}$$

Donde:

P_{tx} : Es la potencia con la que transmite el equipo transmisor.

L_{tx} : Son las pérdidas totales en el transmisor. Incluye las pérdidas de retorno debido a conexiones directas y las pérdidas por propagación en cables y guíasondas.

G_{tx} : Es la ganancia de la antena transmisora.

PL : Son las pérdidas que sufre onda electromagnética en la propagación por espacio libre (Path Loss). [Ecuación 19.3 ó 19.4]

$\sum L_o$: Son otras pérdidas que deban tenerse en cuenta como por ejemplo las pérdidas por obstáculos.

G_{rx} : Es la ganancia de la antena receptora.

L_{rx} : Son las pérdidas totales en el receptor. Incluye las pérdidas de retorno debido a conexiones directas y las pérdidas por propagación en cables y guíasondas.

FM : Es el fade margin. Margen de seguridad que debe dejarse entre la potencia media de recepción y la sensibilidad del equipo receptor a fin de evitar caídas temporales debido a variaciones del escenario.

Ecuación 19.3:

$$PL = 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d) \text{ [dB]}$$

Donde:

f : Es la frecuencia en [MHz] de la portadora.

d : Es la longitud en [Km] del vano.

Ecuación 19.4:

$$PL = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \text{ [dB]}$$

Donde:

λ : Es la longitud de onda de la portadora.

d : Es la longitud del vano.

19.1.2. Herramientas de simulación

Los balances de potencias apenas aportan un cálculo aproximado que puede ser útil para sistemas sencillos en los que no se esperan situaciones adversas. Hoy en día existen herramientas software que permiten diseñar radioenlaces y redes compuestas por varios de estos de forma sencilla y con gran exactitud, permitiendo tener en cuenta todo tipo de escenarios, desde los más básicos hasta los más complejos.

Estas herramientas también realizan un balance de potencias básico, pero además de tener en cuenta las pérdidas por propagación en espacio libre, tienen en cuenta las pérdidas por hidrometeoros, propagaciones multitrayecto y obstáculos. Estas pérdidas son calculadas según las recomendaciones ITU-R con los parámetros adecuados para las diferentes zonas geográficas. Por lo tanto, proporcionan un resultado mucho más exacto

y además indican la disponibilidad anual del radioenlace, tanto total como desglosada por agentes causantes de la pérdida.

Estas herramientas cuentan con interfaces que hacen muy sencillo posicionar los emplazamientos en los mapas y gracias a los datos topográficos del terreno con los que cuentan permiten visualizar los perfiles de los vanos teniendo en cuenta los efectos de la curvatura terrestre mediante la realización de un modelo de tierra ficticio para posicionar las antenas a la altura correcta y así poder evitar obstáculos. Además calculan tanto la elevación como el azimut que las antenas deben tener en los emplazamientos para una correcta alineación de estas.

Los fabricantes de equipos facilitan archivos con datos técnicos como la potencia de transmisión alcanzada, la sensibilidad y las pérdidas de retorno de sus equipos y la ganancia de las antenas. De esta forma se puede adaptar el diseño fácilmente a unos equipos concretos. Gracias a esto y a que estas herramientas guardan los valores típicos de las pérdidas introducidas por el uso de diversidad, es posible también simular diferentes configuraciones de radioenlaces.

En el mercado se pueden encontrar desde herramientas muy completas y sofisticadas como son PathLoss o IQLink hasta herramientas más simples, que incluso son gratuitas. Además existen herramientas de diseño muy básicas para dispositivos móviles.

19.2. PARÁMETROS DE CALIDAD

Para comprobar si un radioenlace permitirá una comunicación adecuada entre los emplazamientos, los principales parámetros de calidad que deben analizarse son:

- **Tasa de error binario (BER):** Tasa de bits erróneos recibidos.
- **Disponibilidad:** Porcentaje de tiempo que el radioenlace se encuentra habilitado.
- **Fade Margin (FM):** Margen entre la potencia de la señal recibida y la sensibilidad del receptor.
- **MSE:** Distorsión de la señal recibida.

La figura 19.1 muestra un ejemplo de cómo afectan las variaciones en la potencia de recepción a la disponibilidad del radioenlace una vez superan el FM. Para este ejemplo se ha tomado como referencia la BER típica.

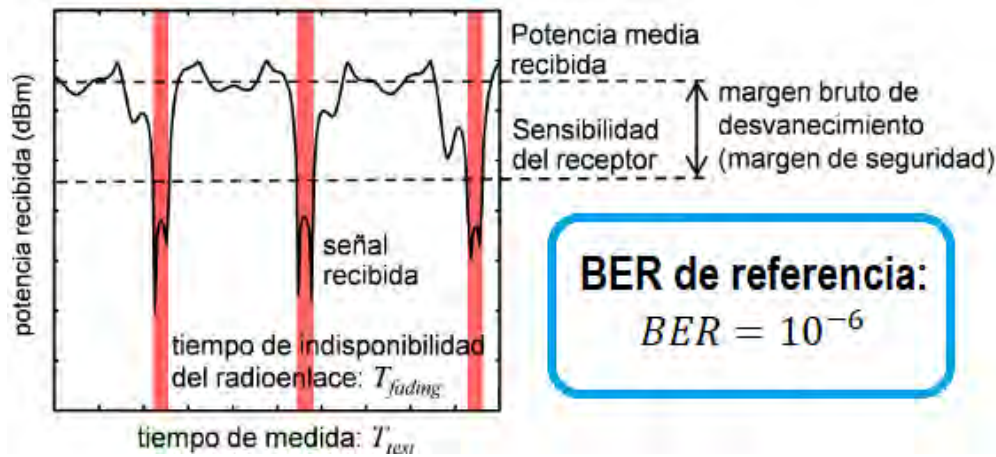


FIGURA 19.1: DISPONIBILIDADES EN UN RADIOENLACE EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN.

19.2.1. BER (Bit Error Ratio)

La BER indica la cantidad de bits incorrectos que se reciben con respecto al total de bits transmitidos.

Se calcula mediante la ecuación:

Ecuación 19.5:

$$BER = \frac{N_e}{N_t}$$

Donde:

BER : Es la tasa de error binario.

N_e : Es el número de bits recibidos incorrectamente del total de bits transmitidos.

N_t : Es el número total de bits transmitidos tomados como referencia.

Para que la comunicación sea considerada adecuada, se establece su valor máximo en:

$$BER = 10^{-6}$$

19.2.2. Disponibilidad del radioenlace

Este parámetro hace referencia a la cantidad de tiempo que el radioenlace está otorgando una comunicación adecuada con los parámetros establecidos. Es decir, con una BER inferior a la establecida.

A lo largo del tiempo, debido a variaciones en el escenario bajo el que trabaja el radioenlace, la potencia de la señal en el receptor puede variar. A medida que esta disminuye, al equipo receptor le cuesta más recuperar la señal correctamente, haciendo que la BER aumente. Si la BER supera el límite establecido, se considera que el radioenlace está indisponible.

La disponibilidad de un radioenlace se calcula con la siguiente expresión:

Ecuación 19.6:

$$\text{Disponibilidad} = \left(1 - \frac{T_{\text{ind}}}{T_t}\right) \cdot 100 [\%]$$

Donde:

T_{ind} : Es el tiempo que el radioenlace se encuentra indisponible. Es decir, con una BER superior a la establecida como límite.

T_t : Es el tiempo total que se ha tomado como referencia.

El valor recomendado para este parámetro es de “cuatro 9”, lo que corresponde a una indisponibilidad anual de unos 50 minutos.

$$\text{Disponibilidad} = 99.99\%$$

19.2.3. Fade Margin (FM)

Es el margen que se establece entre la sensibilidad del receptor y la potencia media de la señal recibida como medio de protección frente a desvanecimientos. Si la potencia media de la señal recibida se ajustara a la sensibilidad del equipo, cualquier mínimo desvanecimiento en la señal podría causar la indisponibilidad del sistema.

La ecuación para calcular el FM es:

Ecuación 19.7:

$$FM = (P_{rx} - S) [dB]$$

Donde:

FM : Es el fade margin.

P_{rx} : Es la potencia en [dB] de la señal en el receptor.

S : Es la sensibilidad en [dB] del equipo receptor para un ancho de banda y una modulación.

El valor mínimo que suele darse al fade margin en configuraciones 1+0 es:

$$FM = 20 \text{ dB}$$

Para el resto de configuraciones, su valor mínimo suele establecerse en:

$$FM = 15 \text{ dB}$$

19.2.4. MSE (Mean Squared Error)

El MSE es calculado en los demoduladores de los equipos receptores, e indica la media del cuadrado de la distancia entre los puntos recibidos y el punto enviado en los diagramas de constelaciones.

Cuando una señal recibida tiene una BER alta pero mantiene un FM adecuado, se puede observar que el MSE será elevado también. Esto es un indicio de que el nivel de interferencias es tan alto que está distorsionando la señal.

Para las muestras de una señal Y , el MSE se calcula según la ecuación 19.8.

Ecuación 19.8:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2$$

Donde:

n : Es el número de muestras.

\hat{Y}_i : Son los puntos recibidos en el demulador.

Y_i : Son los puntos del diagrama de constelación enviados.

Aunque el valor del MSE para considerar que la señal recibida es adecuada depende de la modulación y del ancho de banda, este valor suele establecerse en torno a:

$$MSE = -40 \text{ dB}$$

20- PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS

Estas pérdidas se dan cuando un objeto incide en el camino de propagación de las ondas electromagnéticas o bien estas pasan tan próximas al objeto que se difractan.

20.1. DIFRACCIÓN

La difracción es el fenómeno por el cual toda onda que encuentra un objeto o una rendija en su camino sufre una desviación en su trayectoria de propagación y un esparcimiento de su frente de ondas. Para que este fenómeno tenga lugar, la rendija o el tamaño del obstáculo deben ser de un tamaño similar a la longitud de onda de la portadora.

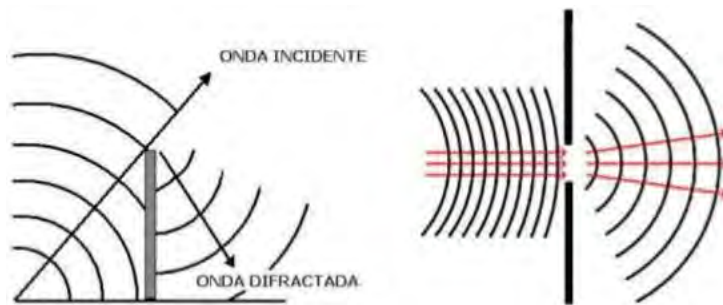


FIGURA 20.1: EFECTOS DE LA DIFRACCIÓN.

Esto ocurre por una redistribución de la energía en el frente de ondas al pasar por la orilla de un objeto. El motivo por el cual se da esta redistribución queda indicado en el principio de Huygens, cuyo autor, Christiaan Huygens, indica que cada punto del frente de ondas formado en el orificio se convierte en un nuevo foco emisor de ondas elementales y la onda que las envuelve se convierte en el nuevo frente de ondas.

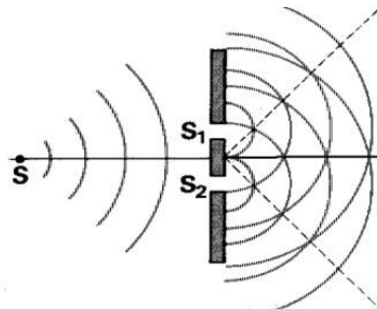


FIGURA 20.2: CONVERSIÓN DE LOS PUNTOS DEL FRENTE DE ONDAS EN LOS ORIFICIOS EN NUEVOS FOCOS EMISORES.

El efecto de difracción es de vital importancia en el diseño radioenlaces punto a punto, terrestres, pues es causante de las pérdidas por obstáculos incluso en escenarios en los que hay línea de visión directa.

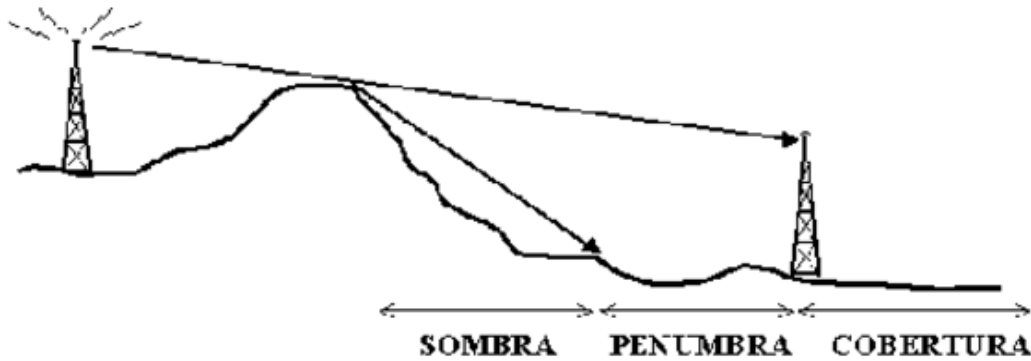


FIGURA 20.3: EJEMPLO DE ESCENARIO EN EL QUE A PESAR DE HABER LÍNEA DE VISIÓN DIRECTA, HAY PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS POR CAUSA DE LA DIFRACCIÓN.

20.2. TIPOS DE ESCENARIOS

Atendiendo a la distancia de los obstáculos con respecto a la línea recta imaginaria que une ambas antenas del radioenlace, llamada línea de visión directa y a la primera zona de Fresnel se distinguen tres tipos de escenarios, LOS, nLOS y NLOS.

20.2.1. Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos que van desde el centro de una de las antenas hasta el centro de la otra rodeando a la línea de visión directa que las une. Estas zonas representan el límite en el que si una onda parte de la antena transmisora y se refleja sobre la superficie del elipsoide, llegaría a la antena receptora con un desfase con respecto a otra onda que ha viajado por el camino directo de 180° para la primera zona de Fresnel, 360° para segunda, y así sucesivamente.

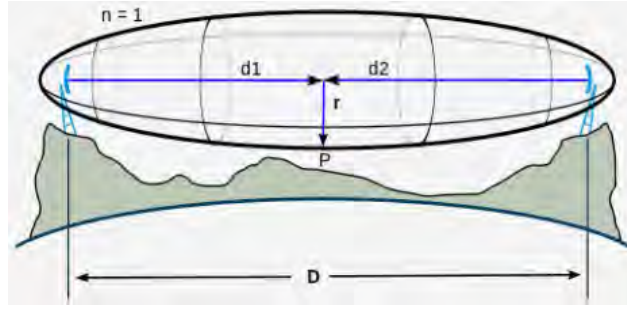


FIGURA 20.4: PRIMERA ZONA DE FRESNEL Y PARÁMETROS PARA SU CÁLCULO.

El cálculo del radio de la n -ésima zona de Fresnel en un punto cualquiera del vano, obtenido de la Recomendación ITU-R P.526-11, se realiza mediante la ecuación 20.1 o la ecuación 20.2 según desee calcularse a partir de la frecuencia o de la longitud de onda respectivamente.

Ecuación 20.1:

$$R_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

R_n : Es el radio de la n -ésima zona de Fresnel.

d_i : Es la distancia desde cada transceptor al punto de cálculo.

λ : Es la longitud de onda de la portadora.

Resto de parámetros en Figura 20.7.

Ecuación 20.2:

$$R_n = 17.3 \sqrt{nf \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

d_i : Es la distancia [en Km] desde cada transceptor al punto de cálculo.

f : Es la frecuencia en [GHz] de onda de la portadora.

Resto de parámetros en Figura 20.7.

Si se desea concretar el cálculo para la primera zona de Fresnel (R_1) en el punto medio del vano ($d_1 = d_2$) podemos utilizar la siguiente expresión:

Ecuación 20.3:

$$R_1 = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}}$$

Donde:

D : Es la distancia [en km] del vano. ($D = d_1 + d_2$)

f : Es la frecuencia en [GHz] de onda de la portadora.

Resto de parámetros en Figura 20.7.

Como puede observarse analizando las ecuaciones 20.1, 20.2 y 20.3, el radio de las zonas de Fresnel en un mismo punto del vano, es mayor a frecuencias más bajas. En ocasiones, puede resultar útil cambiar a una frecuencia de trabajo superior para reducir el radio del elipsoide y así liberar la primera zona de Fresnel.

20.2.2. Line of Sight (LOS)

Se dice que hay LOS cuando los obstáculos que presenta el vano no invaden la línea de visión directa ni la primera zona de Fresnel. En este caso no se dan difracciones y por lo tanto no hay pérdidas por obstáculos.

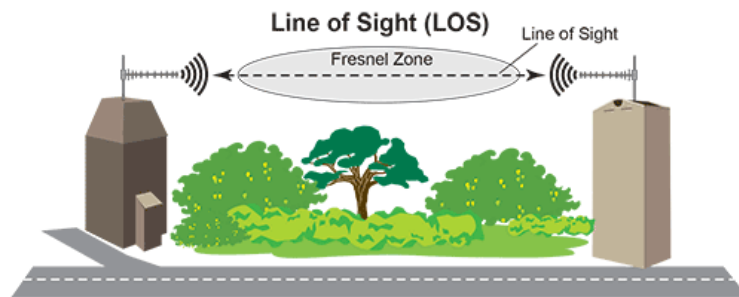


FIGURA 20.5: ESCENARIO CON LINE OF SIGHT.

20.2.3. near Line of Sight (nLOS)

En este caso, al menos un obstáculo ocupa la primera zona de Fresnel aunque no llega a interceptar con la línea de visión directa. La cercanía con la que el haz pasa del obstáculo provoca que este sufra difracciones y por lo tanto que haya pérdidas en la señal. Cuanto más cerca pase el haz del obstáculo mayores serán las pérdidas, siendo especialmente altas cuando el obstáculo llega a ocupar la zona del 60% de la primera zona de Fresnel más cercana a la línea de visión directa.

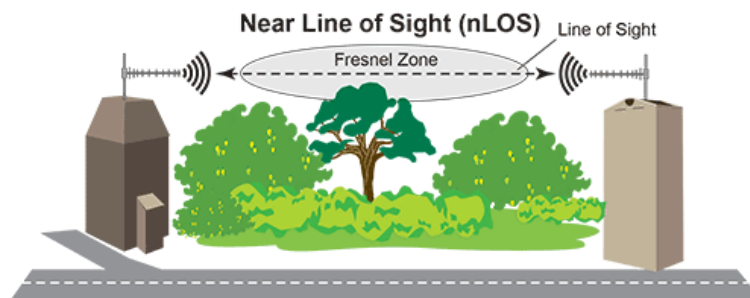


FIGURA 20.6: ESCENARIO CON NEAR LINE OF SIGHT.

20.2.4. Non Line of Sight (NLOS)

Los escenarios NLOS son los más destructivos ya que el obstáculo intercepta la línea de visión directa creando difracciones, refracciones y reflexiones en el haz, que se traducen en importantes pérdidas en la señal. Los radioenlaces en escenarios con NLOS deben ser totalmente descartados y replanteado su diseño.

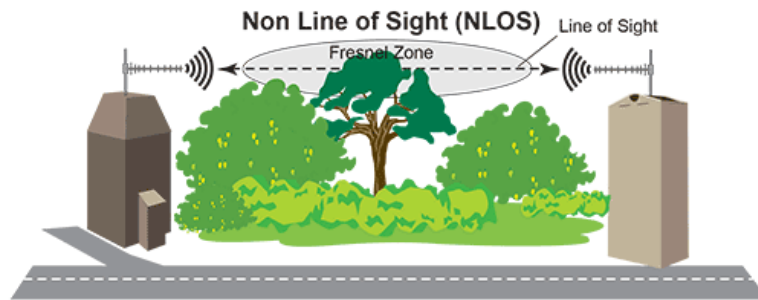


FIGURA 20.7: ESCENARIO CON NON LINE OF SIGHT.

20.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS

Es casi imposible calcular con exactitud las pérdidas generadas por obstáculos en la señal, pues estos tienen diferentes morfologías y topologías que afectan de diferente manera a la propagación de la onda.

En la Recomendación ITU-R P.530-13 se indican los cálculos para obtener de forma aproximada el valor de estas pérdidas. Además en la Recomendación ITU-R P.526-13 se presentan los cálculos para estimar la atenuación generada por obstáculos genéricos de diferentes morfologías en radioenlaces que trabajan en frecuencias mayores de 30Mhz.

De entre estos obstáculos, los más habituales de encontrar son, el obstáculo único en arista en filo de cuchillo y el obstáculo único de forma redondeada.

20.3.1. Obstáculo genérico

La expresión indicada a continuación para el cálculo de las pérdidas originadas por un obstáculo genérico sólo sirve para grandes pérdidas por encima de los 15dB.

Ecuación 20.4:

$$A_d = -20 \frac{h}{R_1} + 10$$

Donde:

A_d : Son las pérdidas originadas por el obstáculo.

h : Es la distancia desde la cima del obstáculo más importante a la línea de visión directa. Por lo tanto será negativa en escenarios NLOS y positiva en escenarios nLOS.

Basándose en esta ecuación, la gráfica de la figura 20.8 muestra las pérdidas generadas por un obstáculo en función del despeje en la primera zona de Fresnel.

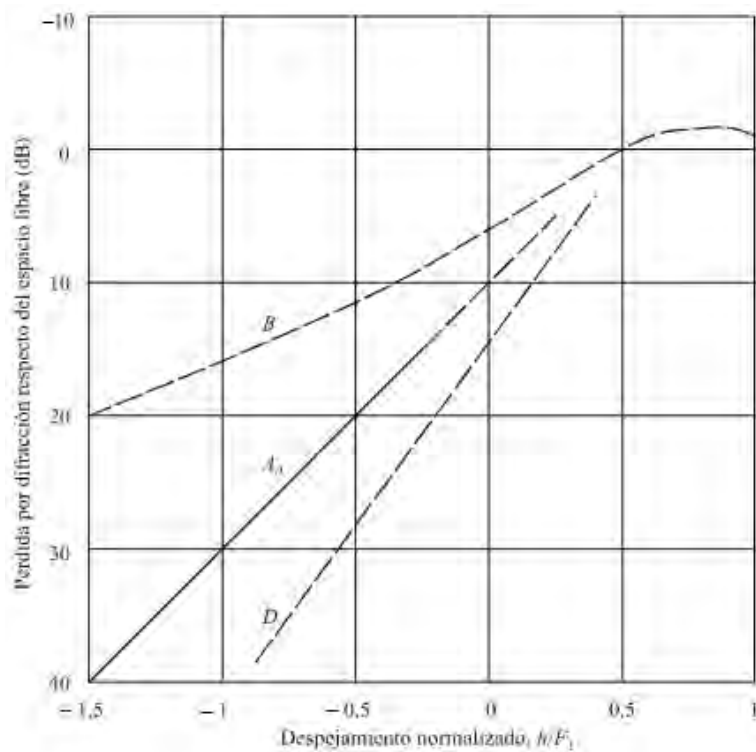


FIGURA 20.8: GRÁFICA DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS EN FUNCIÓN DEL DESPEJE EN LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL.

20.3.2. Obstáculo único en arista en filo de cuchillo

Para el cálculo de las pérdidas generadas por un único objeto con arista en filo de cuchillo, debe calcularse en primer lugar el parámetro adimensional v , el cual engloba en sí mismo todos los aspectos geométricos que participan en la intersección entre la onda y el obstáculo. Para el cálculo de este parámetro puede utilizarse cualquiera de las siguientes expresiones:

Ecuación 20.5:

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

Donde:

v : Parámetro adimensional que engloba la geometría de la intersección.

h : Es la distancia desde la línea de visión directa hasta la cima del obstáculo. Por lo tanto será positiva en escenarios NLOS y negativa en escenarios nLOS.

λ : Longitud de onda de la portadora.

Resto de parámetros en las Imágenes 20.9 y 20.10.

Ecuación 20.6:

$$v = \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

Ecuación 20.7:

$$v = \sqrt{\frac{2h\theta}{\lambda}}$$

Donde v tiene el mismo signo que h y θ .

Ecuación 20.8:

$$v = \sqrt{\frac{2d}{\lambda} \alpha_1 \alpha_2}$$

Donde v tiene el mismo signo que α_1 y α_2 .

Las siguientes imágenes muestran los dos escenarios (nLOS y NLOS) que presentan pérdidas por obstáculos:

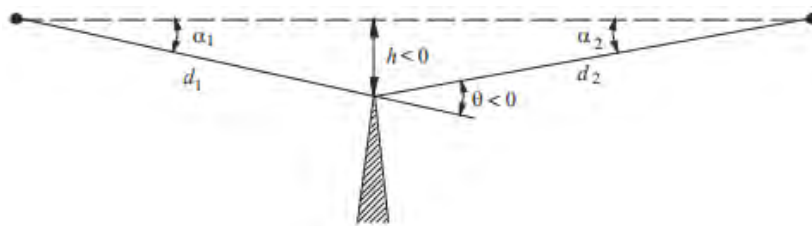


FIGURA 20.9: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN ESCENARIO NEAR LINE OF SIGHT CON ÚNICO OBSTÁCULO EN ARISTA EN FILO DE CUCHILLO.

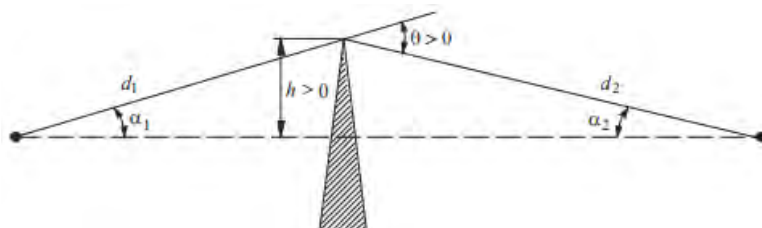


FIGURA 20.10: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN ESCENARIO NON LINE OF SIGHT CON ÚNICO OBSTÁCULO EN ARISTA EN FILO DE CUCHILLO.

Una vez calculado el valor del parámetro v , la gráfica de la figura 20.11 indica el valor de las pérdidas en función de este parámetro.

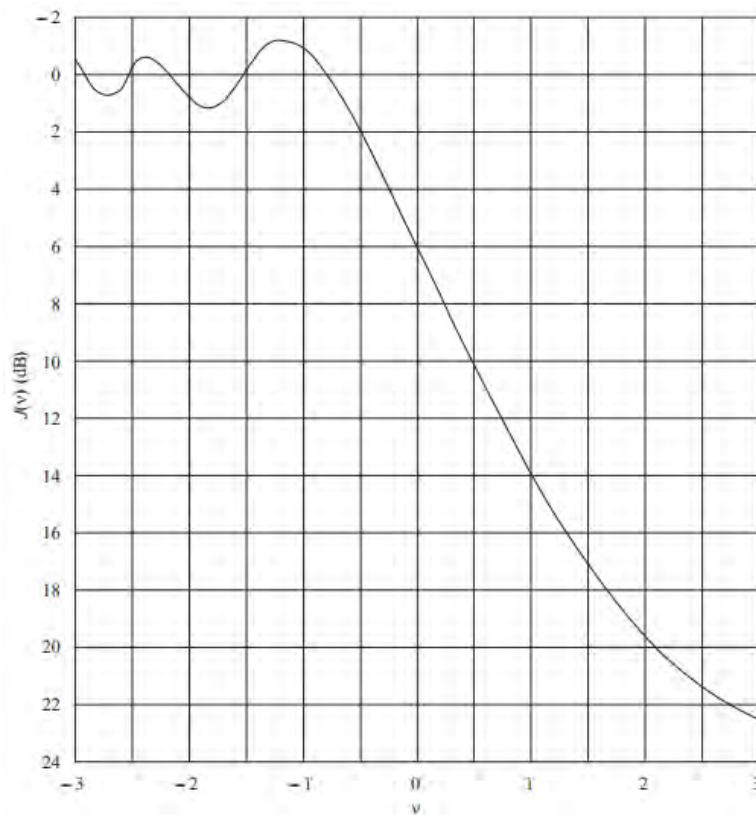


FIGURA 20.11: GRÁFICA DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULO ÚNICO EN ARISTA EN FILO DE COCHILO EN FUNCIÓN DEL PARÁMETRO v .

A partir de esta gráfica y de las ecuaciones para el cálculo del parámetro v se concluye que:

- Cuanto mayor sea el despeje de la primera zona de Fresnel, menor será el valor del parámetro v y menores serán las pérdidas.
- Los valores de v negativos corresponden a escenarios nLOS, y los positivos a escenarios NLOS
- La gráfica de esta función responde a dos expresiones. Una, hasta el valor $v = -0.78$, en el que las pérdidas oscilan entre los valores 1 y -1 de forma sinusoidal y otra, a partir de este punto, en el que las pérdidas aumentan exponencialmente con la altura del obstáculo.

20.3.3. Obstáculo único en forma redondeada

En el caso de obstáculos únicos con forma redondeada deben calcularse las pérdidas causadas por un obstáculo equivalente en arista en filo de cuchillo y añadirle las pérdidas adicionales debidas a la curvatura según la ecuación 20.9.

Ecuación 20.9:

$$A = J(v) + T(m, n)$$

Donde:

A: Son las pérdidas causadas por un obstáculo único en forma redondeada.

J(v): Son las pérdidas causadas por un obstáculo único en arista en filo de cuchillo.

T(m, n): Son las pérdidas adicionales debidas a la curvatura. Se calculan con la ecuación 20.10 para $mn > 4$ y con la ecuación 20.11 para $mn < 4$.

Ecuación 20.10:

$$T(m, n) = 7.2m^{0.5} - (2 - 12.5n)m + 3.6m^{1.5} - 0.8m^2$$

Donde:

m: Se calcula mediante la ecuación 20.12.

n: Se calcula mediante la ecuación 20.13.

Ecuación 20.11:

$$T(m, n) = -6 - 20 \log(mn) + 7.2m^{0.5} - (2 - 17n)m + 3.6m^{1.5} - 0.8m^2$$

Donde:

m: Se calcula mediante la ecuación 20.12.

n: Se calcula mediante la ecuación 20.13.

Ecuación 20.12:

$$m = R \frac{\left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right]}{\left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3}}$$

Donde:

Todos los parámetros vienen indicados en la figura 20.12.

Ecuación 20.13:

$$n = h \frac{\left[\frac{\pi R}{\lambda} \right]^{1/3}}{R}$$

Donde:

Todos los parámetros vienen indicados en la figura 20.12.

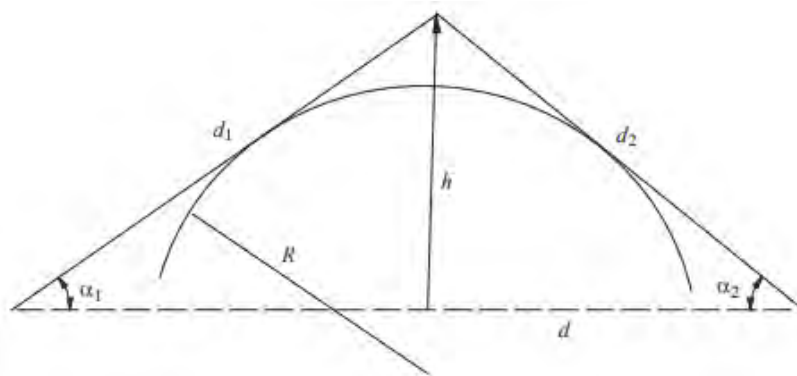


FIGURA 20.12: PARÁMETRO GEÓMETRICOS DEL OBSTÁCULO ÚNICO DE FORMA REDONDEADA.

20.4. ALTURA DE LAS ANTENAS

En el diseño de los radioenlaces punto a punto, es de vital importancia la selección de las localizaciones de los emplazamientos y la altura de las antenas en estos. Esto es así ya que las ondas electromagnéticas que transportan los datos viajarán desde una antena hasta la otra por un camino que debe estar lo más limpio posible de obstáculos con el objetivo de evitar difracciones que causen pérdidas en la señal. Las altas frecuencias en las que trabajan los radioenlaces de microondas y la gran directividad que presentan las antenas hacen que las pérdidas por obstáculos sean siempre muy elevadas.

Son diversos los obstáculos que pueden situarse en el medio de los vanos y atendiendo al tiempo que pasarán obstaculizando el radioenlace, se pueden clasificar en dos grupos:

- **Permanentes:** Son los más habituales y entre ellos destacan las estructuras naturales como montañas, árboles o nidos de aves en las torres, y las estructuras artificiales construidas por el hombre como pueden ser edificios, casas y demás estructuras arquitectónicas.
- **Temporales:** Son menos frecuentes. Las grúas torre, con sus hasta 80 metros de altura y 40 de luz, son el ejemplo más frecuente de obstáculos temporales.

Mientras que la solución a los obstáculos temporales puede ser tan sencilla como esperar a que se finalice con el uso de dicho objeto, los obstáculos permanentes pueden obligar a un rediseño de la red con la posible anulación o sustitución de algún radioenlace.

Para diseñar un radioenlace correctamente, es aconsejable que las alturas de las antenas sean tales que la primera zona de Fresnel quede despejada en su totalidad, a fin de evitar pérdidas por obstáculos.

Hoy en día, casi todas las herramientas de diseño de radioenlaces cuentan con mapas y datos sobre la topografía del terreno con las que son capaces de mostrar el perfil del vano teniendo en cuenta los efectos de la curvatura terrestre. Además, estas herramientas calculan y muestran la línea de visión directa entre transceptores y el perfil del elipsoide de las zonas de Fresnel, haciendo muy simple identificar el tipo de escenario en el que trabaja el radioenlace. Apoyándose en todo esto, estas herramientas también son capaces de calcular la altura mínima de las antenas que aseguran una primera zona de Fresnel despejada.



FIGURA 20.13: HERRAMIENTA DE DISEÑO PATHLOSS, MOSTRANDO EL PERFIL DEL VANO TENIENDO EN CUENTA LA CURVATURA TERRESTRE, LA LÍNEA DE VISIÓN DIRECTA, LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL Y CALCULA LA ALTURA DE LAS ANTENAS PARA UN ESCENARIO LOS.

Aunque se cuente con la ayuda de estas herramientas, siempre es necesario hacer trabajos de campo previos a la instalación del radioenlace. En estos trabajos se debe comprobar in situ la inexistencia de obstáculos.

Para ello, habrá que situarse en el emplazamiento en cuestión y a la altura en la que se vaya a instalar la antena. Con la ayuda de unos prismáticos, se debe mirar hacia el otro transceptor y conseguir visualizarlo a través de un camino totalmente despejado. Estos trabajos son imprescindibles porque los datos con los que trabajan estas herramientas

hacen referencia únicamente de la topografía del terreno, no teniendo en cuenta árboles, edificios y demás estructuras.

20.5. MODELO DE TIERRA FICTICIA

Anteriormente se ha tratado sobre la importancia de visualizar el perfil del vano sobre el que trabajará el radioenlace con el objetivo de escoger la altura de las antenas adecuada a fin de evitar obstáculos. Sin embargo, debido a la curvatura terrestre, la altura de estos obstáculos se ve acentuada pudiendo crear pérdidas o zonas de sombra electromagnética. Esto es sobretodo notable en radioenlaces de largas distancia, por encima de los 25Km.

Si bien es verdad que este aumento de la altura de los obstáculos se ve reducida gracias a la trayectoria cóncava que siguen las ondas electromagnéticas en la troposfera debido a la variación del índice de refracción [Capítulo 21.1.2], es necesario acudir al modelo de tierra ficticia para corregir la altura real de estos obstáculos.

El modelo de tierra ficticia corrige el radio real de la tierra, y por lo tanto también la altura real de los obstáculos del perfil del vano, teniendo en cuenta tanto la curvatura de la tierra como los efectos de la propagación por la troposfera, para una propagación rectilínea de las ondas electromagnéticas.

20.5.1. Cálculo del radio ficticio de la tierra

El cálculo del radio ficticio de la tierra se realiza en función de la constante de tierra ficticia (k) y adecúa la altura de los obstáculos a una transmisión rectilínea.

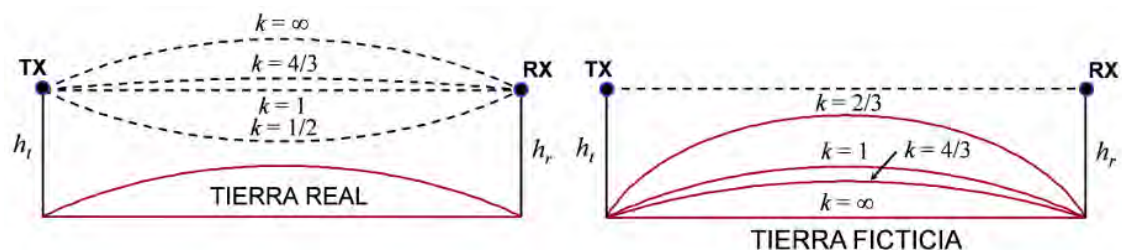


FIGURA 20.14: RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE TIERRA FICTICIA.

Este cálculo se realiza a partir de la curvatura real tierra y la curvatura que siguen las ondas electromagnéticas al propagarse por la troposfera según la ecuación 20.14.

Ecuación 20.14:

$$C_{Ficticia} = C_{Tierra} - C_{Haz} = \frac{1}{R_t} + \frac{dn(h)}{dh}$$

Donde:

$C_{Ficticia}$: Es la curvatura ficticia de la tierra.

C_{Tierra} : Es la curvatura real de la tierra.

C_{Haz} : Es la curvatura que siguen las ondas al propagarse por la troposfera

R_t : Es el radio de la tierra.

$$R_t = 6370Km$$

$n(h)$: Es la variación del índice de refracción en la troposfera en función de la altura

Teniendo en cuenta que el radio es el inverso a la curvatura, se obtiene la siguiente expresión:

Ecuación 20.15:

$$R_{Ficticio} = R_t \cdot \frac{1}{1 + R_t \frac{dn(h)}{dh}}$$

Donde:

$R_{Ficticio}$: Es el radio ficticio de la tierra.

La constante de tierra ficticia (k) se define como:

Ecuación 20.16:

$$k = \frac{1}{1 + R_t \frac{dn(h)}{dh}}$$

Por lo tanto, se obtiene la siguiente expresión para el cálculo del radio de la tierra ficticia:

Ecuación 20.17:

$$R_{Ficticio} = R_t \cdot k$$

En condiciones normales de presión atmosférica, humedad y temperatura, se obtienen los siguientes valores para la constante de tierra ficticia y para el radio ficticio de la tierra:

$$k = 4/3 = 1.3334$$

$$R_{Ficticio} = 8493.33 Km$$

20.5.2. Método flecha

El método flecha se aplica a cada uno de los puntos que forman el perfil del vano y corrige su altura según el radio ficticio de la tierra que se aplique.

Ecuación 20.18:

$$h_{Ficticia} = f(d_1, d_2) = \frac{d_1 d_2}{2kR_t}$$

Donde:

$h_{Ficticia}$: Es la altura ficticia del punto en el que se aplica el método flecha.
El resto de parámetros quedan representados en la figura 13.2.

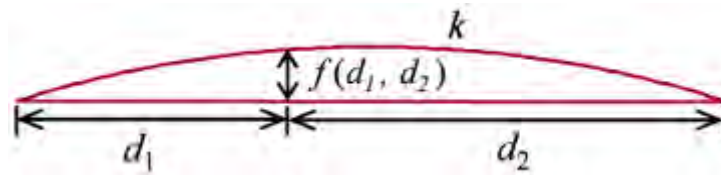


FIGURA 20.15: CORRECCIÓN DE LA ALTURA DEL PERFIL DEL VANO MEDIANTE EL MÉTODO FLECHA.

En ocasiones, la altura de algún obstáculo puede ser tal, que las condiciones de presión atmosférica, humedad y temperatura en dicho punto den lugar a un valor de la constante de tierra ficticia (k) diferente al aplicado. En estos casos es posible realizar una segunda corrección de la altura de este obstáculo mediante la aplicación de la siguiente expresión:

Ecuación 20.19:

$$h_{Ficticia} = f(d_1, d_2) + \Delta f(d_1, d_2)$$

Donde:

$\Delta f(d_1, d_2)$: Es la segunda corrección que se aplica a los puntos con diferente k . Este se calcula mediante la ecuación 20.20.

Ecuación 20.20:

$$\Delta f = \frac{d_1 d_2}{2kR_t} \left(\frac{1}{K_2} - \frac{1}{K_1} \right)$$

Donde:

K_2 : Es la constante de tierra ficticia en los puntos más críticos.

K_1 : Es la constante de tierra ficticia aplicada en la primera corrección.

El resto de parámetros quedan indicados en la figura 13.3.

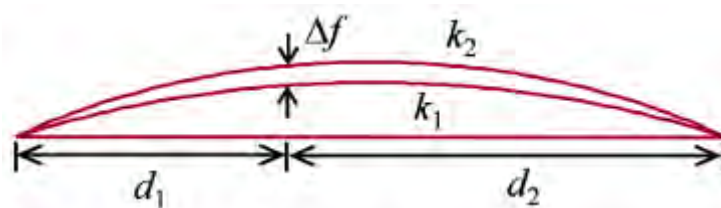


FIGURA 20.16: SEGUNDA CORRECCIÓN DE LA ALTURA EN LOS PUNTOS MÁS ELEVADOS.

20.5.3. Tipos de troposfera

Atendiendo al valor de la constante de tierra ficticia (k) se diferencian cuatro tipos de troposferas:

- **Conductiva:** $k < 0$
- **Sub-refractiva:** $0 \leq k < 1$
- **Normal:** $1 \leq k < \frac{4}{3}$
- **Súper-refractiva:** $k > \frac{4}{3}$

La figura 20.17 muestra los resultados de la simulación en la herramienta de diseño Pathloss de las transmisiones de un radioenlace sobre los diferentes tipos de troposferas.

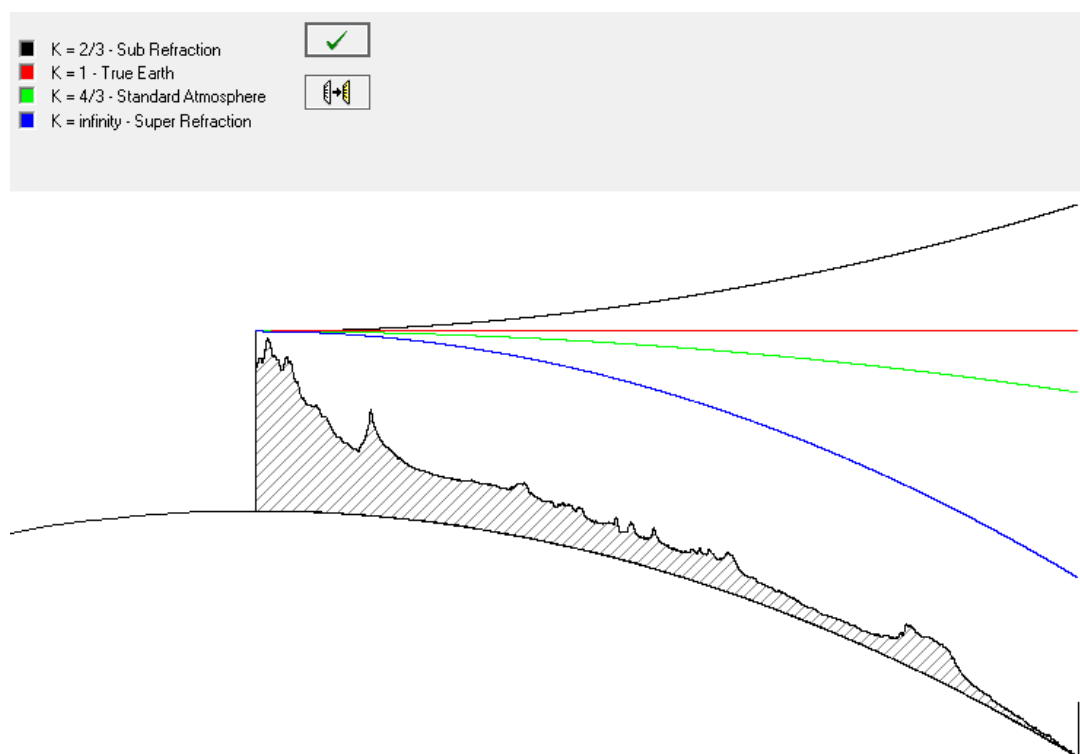


FIGURA 20.17: PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE TROPOSFERAS.

Gracias a estas simulaciones puede observarse fácilmente que cuanto más refractiva es la troposfera (mayor valor de la constante k) mayor es la curvatura de los caminos de propagación que siguen las ondas electromagnéticas, dando lugar a una tierra ficticia más plana [Figura 20.14].

21- PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO

En una transmisión radio existe una señal directa que va desde el transmisor hasta el receptor por el camino más corto. Sin embargo, también hay otras señales que debido a las refracciones y reflexiones, recorrerán caminos más largos llegando al receptor con cierto retardo y provocando interferencias en este.

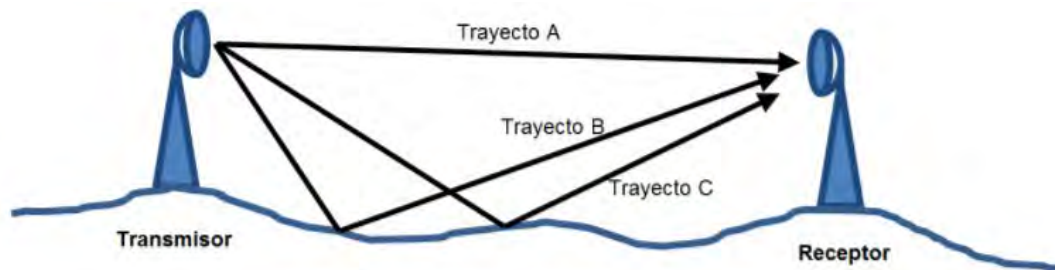


FIGURA 21.1: TRANSMISIÓN CON MULTITRAYECTO

A lo largo de su camino de propagación, las ondas electromagnéticas pueden atravesar diferentes medios con diferentes velocidades de propagación. Al atravesar el plano que separa ambos medios ocurren estos dos fenómenos:

- **Reflexión:** Parte de la energía de la onda rebota y se queda en el primer medio.
- **Refracción:** Parte de la energía de la onda pasa al segundo medio con un cambio en la dirección de propagación.

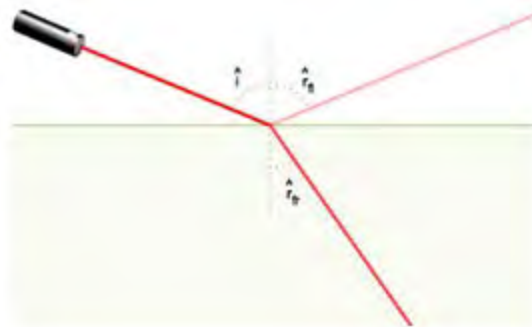


FIGURA 21.2: REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UN HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

Las interferencias causadas por la propagación multitrayecto se traducen en pérdidas en la transmisión, las cuales son más acentuadas en radioenlaces que trabajan bajo las siguientes circunstancias:

- Frecuencias altas.
- Vanos largos.
- Vanos compuestos en gran medida por agua.
- Vanos causantes de reflexiones especulares.
- Vanos con topografías complejas.

21.1. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas no es la misma en todos los medios, siendo en el vacío donde estas alcanzan la mayor velocidad:

$$C = 300.000 \text{ [Km/s]}$$

Para caracterizar la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en los diferentes medios, se introduce el parámetro adimensional índice de refracción (n), que, como puede verse en la ecuación 21.1, no es más que el cociente entre la velocidad de propagación en el vacío y la velocidad de propagación en el medio.

Ecuación 21.1:

$$n = \frac{C}{v_p}$$

Donde:

n : Es el índice de refracción del medio

C : Es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío.

v_p : Es la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el medio.

Como la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas depende directamente de la permitividad eléctrica relativa (ϵ_r) y de la permeabilidad magnética relativa (μ_r) del medio, también es posible calcular la índice de refracción mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 21.2:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

Donde:

ϵ_r : Es la permitividad eléctrica relativa del medio.

μ_r : Es la permeabilidad magnética relativa del medio.

Los parámetros de permitividad y permeabilidad relativa indican la tendencia del medio a anular el campo eléctrico y el campo magnético, respectivamente, en su propagación por el medio. Estos parámetros son magnitudes adimensionales utilizadas para indicar la permitividad y la permeabilidad absoluta de un medio en comparación con la permitividad en el vacío (ϵ_0) y la permeabilidad en el vacío (μ_0), respectivamente.

Ecuación 21.3:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

Donde:

ϵ : Es la permitividad eléctrica del medio

ϵ_0 : Es la permitividad eléctrica en el vacío y su valor es:

$$\epsilon_0 = 8.8541878176 \cdot 10^{-12} \left[C^2 / Nm^2 \right]$$

Ecuación 21.4:

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Donde:

μ : Es la permeabilidad magnética del medio

μ_0 : Es la permeabilidad eléctrica en el vacío y su valor es:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [NA^{-2}]$$

21.1.1. Cálculo del índice de refracción en la troposfera

Las ondas electromagnéticas de los radioenlaces terrestres se transmiten por la troposfera. Esta es la capa de la atmósfera que comprende desde la corteza terrestre hasta aproximadamente 10km de altitud.

El índice de refracción en esta capa varía ya que la presión atmosférica, la humedad y la temperatura no son constantes. Para conocer el valor del índice de refracción del aire en la troposfera que atraviesa un radioenlace, la Recomendación ITU-R P.453-7 proporciona la siguiente fórmula válida para frecuencias de hasta 100GHz:

Ecuación 21.5:

$$n = 1 + N \cdot 10^{-6}$$

Donde:

N : Es el coíndice de refracción. [Ecuación 21.6]

Ecuación 21.6:

$$N = N_{seco} + N_{húmedo} = \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right)$$

Donde:

P : Es la presión atmosférica en Hecto-Pascales.

En condiciones normales: $P = 1013 \text{ mb}$

e : Es la presión del vapor de agua en Hecto-Pascales.

En condiciones normales: $e = 10.2 \text{ mb}$

T : Es la temperatura en grados kelvin.

En condiciones normales: $T = 290 \text{ K}$

También es posible obtener el valor de N_{seco} y $N_{húmedo}$ por separado mediante el uso de las ecuaciones 21.7 y 21.8 respectivamente.

Ecuación 21.7:

$$N_{seco} = \frac{77.6}{T} P$$

Ecuación 21.8:

$$N_{húmedo} = 3.732 \cdot 10^5 \cdot \frac{e}{T^2}$$

En condiciones normales de presión atmosférica, de vapor de agua y de temperatura, se obtienen los siguientes valores para el índice y el coíndice de refracción en la troposfera:

$$N = 315$$

$$n = 1.000315$$

21.1.2. Variación del índice de refracción con la altura

En general, la presión atmosférica, la humedad y la temperatura varían en función de la altura en la troposfera. La misma Recomendación ITU-R P.453-7 aporta las siguientes fórmulas para calcular el coíndice y el índice de refracción, respectivamente, en función de la altura a partir de los resultados obtenidos con las ecuaciones anteriores [Ecuaciones 21.7 y 21.8] para una troposfera en condiciones normales:

Ecuación 21.9:

$$N(h) = 315 \cdot e^{-0.136h}$$

Donde:

h : Es la altura a la que se propaga la portadora en [Km].

Ecuación 21.10:

$$n(h) = 1 + 315 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0.136h}$$

Donde:

h : Es la altura a la que se propaga la portadora en [Km].

Debido a que el índice de refracción aumenta en función de la altura en la troposfera, las ondas radioeléctricas sufrirán una pequeña curvatura en su camino de propagación como muestra la figura 21.3.

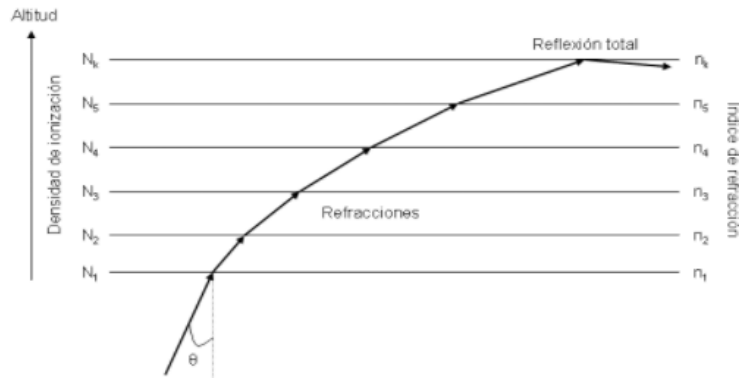


FIGURA 21.3: REPRESENTACIÓN DE LA CURVATURA SUFRIDA POR EL HAZ AL ELEVARSE DENTRO DE LA TROPOSFERA.

Esta curvatura puede calcularse mediante la ecuación 21.11:

Ecuación 21.11:

$$C_{haz} \approx - \frac{dn(h)}{dh} [Km^{-1}]$$

En condiciones normales de presión atmosférica, humedad y temperatura el valor de la curvatura del haz es:

$$C_{haz} \approx - 39.6 \cdot 10^{-6} [Km^{-1}]$$

21.1.3. Variación del índice de refracción con la frecuencia

Aunque en radioenlaces punto a punto de microondas pueda no tenerse en cuenta, el índice de refracción varía mínimamente con la frecuencia de la portadora [Ecuación 21.12], ya que aunque la velocidad de propagación es la misma en el vacío para todas las longitudes de onda, no lo es en medios materiales.

Ecuación 21.12:

$$v_p = \lambda \cdot f$$

Donde:

λ : Es la longitud de onda.

f : Es la frecuencia de la onda.

Como la frecuencia de la onda es siempre la misma independientemente del medio, de la ecuación 21.12 se obtiene que la longitud de onda es la que disminuye en medios materiales haciendo que se reduzca la velocidad de propagación.

21.1.4. Valores del índice de refracción en medios tipo

Aunque los valores de las permitividades y de las permeabilidades, y por lo tanto también el del índice de refracción, dependen de varios factores, en la siguiente tabla se muestran los valores típicos de estos parámetros en los medios más comunes que atraviesan las ondas de radioenlaces terrestres:

MEDIO	ϵ_r	μ_r	n	v_p
Vacío	1	1	1	1
Aire (CNTp)	1.00058986	1.0053	1.0029	2.9912
Agua (20deg)	80	0.0222	1.3329	2.2507
Hielo	3.80	0.5371	1.3099	2.2901

TABLA 21.1: VALORES TÍPICOS DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

A partir de estos valores, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Los valores de la permitividad relativa son mucho más dispersos que los valores de la permeabilidad relativa. Es por esto que cuando se habla de polarizaciones siempre se hace referencia a la polaridad del campo eléctrico, ya que el campo magnético no se ve apenas afectado por las diferentes condiciones del medio ambiente.
- El agua tiene un índice de refracción muy elevado, haciendo que los radioenlaces sobre medios acuáticos sufran de grandes pérdidas por propagaciones multitrayecto.
- El elevado índice de refracción del agua hace que en condiciones de lluvia se sufran grandes pérdidas debido a las elevadas refracciones y reflexiones que sufre la portadora en su trayecto de propagación.

21.2. REFLEXIÓN

La reflexión es uno de los fenómenos que sufren las ondas electromagnéticas al cambiar de medio. En este caso, el rayo al incidir sobre el plano que delimita ambos medios sufre un cambio en la dirección de propagación de forma que no abandona el medio.

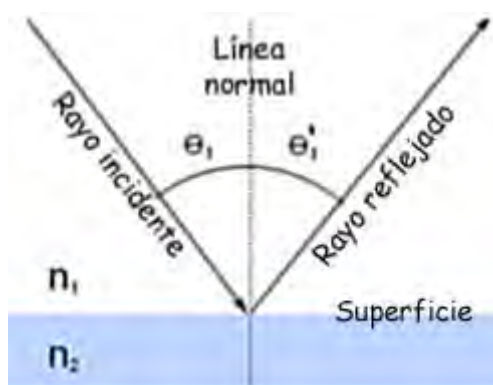


FIGURA 21.4: REFLEXIÓN SUFRIDA POR EL HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

La ecuación 21.13 indica que el ángulo del rayo reflejado con respecto a la normal es siempre igual al del rayo incidente y se produce en el mismo plano de desplazamiento del haz. Además, la velocidad de propagación del rayo incidente es la misma que la del rayo reflejado ya que se mantiene en el mismo medio.

Ecuación 21.13:

$$\theta_1 = \theta_2$$

Donde:

θ_1 : Es el ángulo del rayo incidente con respecto a la normal.

θ_2 : Es el ángulo del rayo reflejado con respecto a la normal.

21.2.1. Tipos de reflexión

Atendiendo al perfil del terreno, se distinguen los siguientes tipos de reflexión:

- **Reflexión especular:** Se da sobre superficies lisas, por lo tanto todas las reflexiones son paralelas. Este tipo de reflexiones son las más destructivas ya que la potencia de la señal reflejada que llega al receptor es mayor.
- **Reflexión difusa:** Se da sobre superficies rugosas. En este caso las reflexiones toman direcciones distintas, difuminando el haz reflejado y haciendo que las señales reflejadas que lleguen al receptor sean menos potentes.

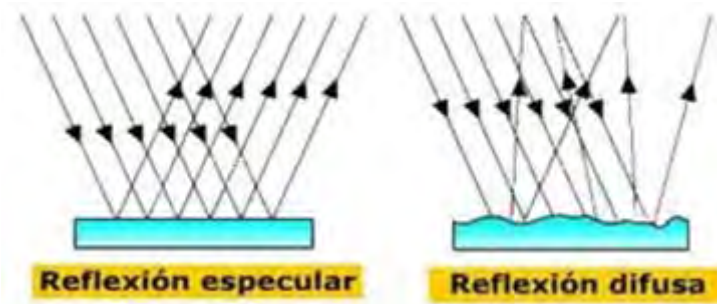


FIGURA 21.5: EJEMPLOS DE REFLEXIÓN ESPECULAR Y DIFUSA.

21.2.2. Cálculo del punto de reflexión

Para calcular el punto de reflexión de un rayo generador de interferencias y el resto parámetros geométricos se aplican las siguientes ecuaciones trigonométricas:

Ecuación 21.14:

$$r_1 = \sqrt{d^2 + (h_t + h_r)^2}$$

Ecuación 21.15:

$$r_2 = \sqrt{d^2 + (h_t + h_r)^2}$$

Ecuación 21.16:

$$\psi = \arctg\left(\frac{h_t + h_r}{d}\right)$$

Donde:

Todos los parámetros participantes quedan reflejados en la figura 21.6.

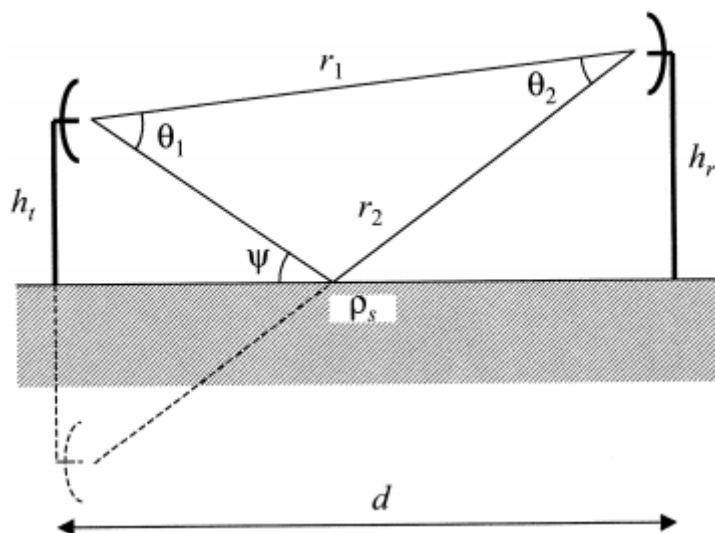


FIGURA 21.6: PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL PUNTO DE REFLEXIÓN.

21.2.3. Cálculo del coeficiente de reflexión

La relación entre el campo eléctrico del rayo incidente y el del rayo reflejado viene indicado por el coeficiente de reflexión. Este parámetro sirve para calcular la intensidad con la que el rayo pasará al siguiente medio y la que quedará en el propio medio. Para su cálculo se aplican las ecuaciones 21.17 y 21.18, según sea la polarización del rayo incidente.

Ecuación 21.17:

$$\rho_v = \frac{\varepsilon' \cdot \text{sen}(\theta_i) - \sqrt{\varepsilon' - \cos^2(\theta_i)}}{\varepsilon' \cdot \text{sen}(\theta_i) + \sqrt{\varepsilon' - \cos^2(\theta_i)}}$$

Donde:

ρ_v : Es el coeficiente de reflexión de una onda polarizada verticalmente.

ε' : Es la permitividad compleja del suelo [Ecuación 21.19].

Ecuación 21.18:

$$\rho_h = \frac{\text{sen}(\theta_i) - \sqrt{\varepsilon' - \cos^2(\theta_i)}}{\text{sen}(\theta_i) + \sqrt{\varepsilon' - \cos^2(\theta_i)}}$$

Donde:

ρ_h : Es el coeficiente de reflexión de una onda polarizada horizontalmente.

ε' : Es la permitividad compleja del suelo [Ecuación 21.19].

Ecuación 21.19:

$$\varepsilon' = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda$$

Donde:

σ : Es la conductividad del suelo.

λ : Es la longitud de onda de la onda incidente.

A partir de estas ecuaciones se sacan las siguientes conclusiones:

- El coeficiente de reflexión siempre será menos destructivo para polarizaciones verticales.
- Superficies con mayor permitividad relativa darán lugar a coeficientes de reflexión más destructivos.
- Las superficies que den lugar a reflexiones especulares, darán lugar a señales interferentes más potentes.

21.3. REFRACCIÓN

La refracción es el otro de los dos fenómenos que sufren las ondas electromagnéticas al cambiar de medio. Consiste en la pérdida de energía (la parte que es reflejada) y en la desviación de la trayectoria de propagación de la onda electromagnética.

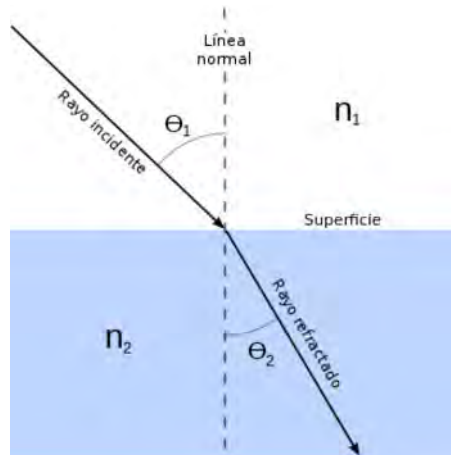


FIGURA 21.7: REFRACCIÓN SUFRIDA POR EL HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

El cálculo de la desviación se realiza mediante la Ley de Snell:

Ecuación 21.20:

$$n_1 \cdot \text{Sen}(\theta_1) = n_2 \cdot \text{Sen}(\theta_2)$$

Donde:

θ_1 : Es el ángulo del rayo incidente con respecto a la normal.

θ_2 : Es el ángulo del rayo refractado con respecto a la normal.

A partir de esta ecuación se concluye que:

- La desviación siempre se produce en el mismo plano de desplazamiento de la onda electromagnética.
- El ángulo del rayo refractado es menor cuando la onda electromagnética pasa a un medio con menor velocidad de propagación, o lo que es lo mismo, con mayor índice de refracción.
- Si el haz de ondas pasa a un medio con mayor velocidad de propagación y por lo tanto con menor índice de refracción, el ángulo del rayo refractado será mayor que el del rayo incidente.

21.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO

La ITU-R ofrece diferentes recomendaciones en las que se indican los cálculos para hallar la indisponibilidad por propagaciones multitrayecto. De todas estas, las más utilizadas son la Recomendación ITU-R P.530-13 para radioenlaces sobre terrenos sólidos y la Recomendación ITU-R P.530-7/8 para radioenlaces sobre vanos formados en gran medida por agua. Esta última, más penalizadora, es utilizada sobre medios acuáticos con el fin de representar con mayor exactitud las elevadas reflexiones y refracciones que se dan sobre estos medios.

Los cálculos de la indisponibilidad por propagaciones multitrayecto en todas las recomendaciones se realizan a partir del factor geoclimático (k), cuyo valor depende del clima y la topografía del terreno en una zona geográfica determinada y en un mes concreto del año.

En la Recomendación ITU-R P.530-13, se indica el siguiente cálculo para la obtención de la indisponibilidad por propagaciones multitrayecto de forma aproximada:

Primero debe calcularse el factor de ocurrencia de propagación por trayectos múltiples mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 21.21:

$$P_0 = kd^{3.1} \cdot (1 + |\varepsilon_p|)^{-1.29} \cdot f^{0.8} \cdot 10^{-0.00089h_L} [\%]$$

Donde:

P_0 : Es el factor de ocurrencia de propagación por trayectos múltiples.

k : Es factor geoclimático para el mes más desfavorable. Si no se tiene su valor, puede obtenerse de forma aproximada con la ecuación 21.22.

d : Es la longitud en [Km] del vano.

$|\varepsilon_p|$: Es la magnitud de la inclinación del trayecto de propagación. [Ecuación 21.23].

f : Es la frecuencia en [GHz] de la portadora.

h_L : Es la menor de las alturas de las antenas sobre el nivel del mar.

Ecuación 21.22:

$$k = 10^{-4.6 - 0.0027dN_1}$$

Donde:

dN_1 : Es el gradiente de refractividad en los 65m inferiores de la troposfera [Apartado 21.1.2].

Ecuación 21.23:

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e|$$

Donde:

h_r : Es la altura de la antena transmisora sobre el nivel del mar.

h_e : Es la altura de la antena receptora sobre el nivel del mar.

A continuación se calcula, mediante la ecuación 7.4, la profundidad de desvanecimiento:

Ecuación 21.24:

$$A_t = 25 + 1.2 \log(P_0)$$

Donde:

A_t : Es la profundidad de desvanecimiento.

Por último, se calcula la indisponibilidad con la ecuación 21.25 si la profundidad de desvanecimiento requerida (A) es igual o mayor a A_t y con la ecuación 21.26 si es menor:

Ecuación 21.25:

$$P_{w1} = P_0 \cdot 10^{-A/10} [\%]$$

Donde:

P_{w1} : Es la indisponibilidad anual debida a propagaciones multitrayecto.

A : Es la profundidad de desvanecimiento requerida.

Ecuación 21.26:

$$P_{w2} = P_0 \cdot 10^{-A_t/10} [\%]$$

Donde:

P_{w2} : Es la indisponibilidad anual debida a propagaciones multitrayecto.

A : Es la profundidad de desvanecimiento requerida.

21.5. MÉTODOS DE REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO

Para tratar de eliminar o al menos reducir el impacto de las propagaciones multitrayecto en el rendimiento de los radioenlaces, en la Recomendación ITU-R P.530-13 se ofrecen las siguientes técnicas que persiguen las siguientes estrategias:

- Reducción del desvanecimiento por dispersión del haz o por propagación multitrayecto en la atmosfera.
- Reducción de la aparición de reflexiones en superficies.

- Reducción del retardo entre la onda directa y la onda multitrayecto.

Alguna de las técnicas más utilizadas que ofrece dicha recomendación son:

- **Aumento de la inclinación del trayecto de propagación:** Una mayor inclinación reduce las dispersiones y las propagaciones multitrayecto. En caso de que el radioenlace esté montado, debe tratarse de aumentar la altura de la antena en uno de los emplazamientos y/o reducirla en el otro.
- **Apantallamiento del punto de reflexión:** Consiste en aprovechar los edificios y el relieve del terreno para apantallar las antenas y de este modo protegerlas de las propagaciones multitrayecto.

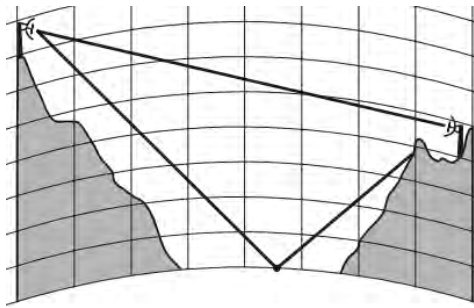


FIGURA 21.8: APANTALLAMIENTO DE ANTENA QUE EVITA LAS PROPAGACIONES MULTITRAYECTO

- **Traslado del punto de reflexión a superficies menos reflectoras:** Haciendo uso de los cálculos indicados en el apartado 21.2.2 para hallar el punto de reflexión, tratar de llevar este punto a zonas con menor índice de reflexión como zonas con abundante vegetación o zonas rugosas que den lugar a pequeñas reflexiones difusas en vez de a potentes reflexiones especulares.
- **Colocación de las antenas a la altura óptima:** En vanos suficientemente cortos es posible colocar las antenas por encima de las posibles zonas de reflexión que pueda presentar el perfil del trayecto de propagación. Si se requiere un cálculo de estas alturas exacto, en el apartado 6.1.2.3 de la Recomendación ITU-R P.530-13 se encuentran los cálculos necesarios para este fin.
- **Uso de la polarización vertical:** Como se ha visto en el apartado 21.2.3, esta polarización sufre menos los efectos destructivos de las reflexiones.

- **Discriminación de antenas:** En trayectos muy inclinados y bien despejados, el ángulo de las señales multitrayecto en la recepción puede ser lo suficientemente amplio para que sea discriminado por el diagrama de radiación de la antena receptora.

21.6. BENEFICIOS DE LA PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO

A pesar de todos los efectos negativos que se han visto a lo largo de este capítulo de la propagación multitrayecto, es posible, en algunos casos, sacar beneficios de esta, como por ejemplo:

- Las diferentes técnicas de diversidad espacial [Anexo VIII, capítulo 29] que consiguen multiplicar la capacidad del radioenlace se basan en la incorrelación entre la propagación directa y la propagación multitrayecto.
- Conseguir interferencias constructivas ayuda a aumentar la potencia de la señal receptora. Sin embargo, esto es bastante complicado de lograr ya que para que la señal multitrayecto tenga efectos constructivos en vez de destructivos, el desfase entre la señal original y la multitrayecto debe ser de 360° . Para lograr esto, la altura de las antenas debe ser la justa para que el punto de reflexión quede a la distancia exacta para que el retardo de la señal multitrayecto de lugar al desfase anteriormente indicado.

22- ATENUACIÓN POR HIDROMETEOROS

La atenuación por hidrometeoros es consecuencia de las pérdidas que la onda electromagnética sufre durante su propagación por la troposfera en escenarios con lluvia, nieve, granizo, niebla y/o demás agentes meteorológicos. Estos agentes causan en las ondas refracciones, reflexiones, difracciones y una fuerte absorción que se traducen en importantes pérdidas en la señal transmitida sobre todo a frecuencias superiores a los 10GHz.

El hidrometeoro que siempre debe tenerse en cuenta en el diseño de radioenlaces por lo destructivo y frecuente que es, son las lluvias a largo plazo. El cálculo de la indisponibilidad causada por este agente suele calcularse para un periodo de tiempo de un año natural y para el mes más perjudicado por este. Este cálculo viene indicado en la Recomendación ITU-R P.530-13. Los cálculos para el resto de hidrometeoros pueden encontrarse en la Recomendación ITU-R P.840.

22.1. CÁLCULO DE LA INDISPONIBILIDAD POR LLUVIA

Los cálculos para la indisponibilidad por lluvia son bastantes complejos, sin embargo, como cualquier herramienta de diseño de radioenlaces los realiza fácilmente, no es necesario un estudio detallado de estos. Sin embargo, si es importante conocer los parámetros de los que estos cálculos dependen, ya que algunas de las herramientas de diseño más simples, no disponen de bases de datos con los valores de estos parámetros y es el usuario quien debe introducirlos. Además, el conocimiento de estos parámetros ayuda a comprender como la lluvia puede afectar a un radioenlace atendiendo a las características de transmisión de este.

Los principales parámetros de los que dependen las pérdidas y la indisponibilidad por lluvia son:

- La atenuación específica (γ_R), que a su vez depende de los coeficientes k y α .
- La intensidad de lluvia (R)
- La distancia efectiva del vano (d_{eff}).

22.1.1. Cálculo de la atenuación específica (γ_R)

La expresión para el cálculo del parámetro γ_R viene indicada en la Recomendación ITU-R P.838-3:

Ecuación 22.1:

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

Donde:

k y α : Son coeficientes que dependen de la polarización y de la frecuencia de la portadora. [Apartado 22.1.2]

R : Es la intensidad de lluvia. [Apartado 22.1.3]

22.1.2. Cálculo de los coeficientes k y α

El valor de los coeficientes k y α depende de la frecuencia y de la polarización de la portadora.

El cálculo de estos viene indicado en Recomendación ITU-R P.838-3. Sin embargo, este es tan complejo que dicha recomendación aporta las gráficas [figuras 22.1, 22.2, 22.3 y 22.4] necesarias para poder obtener su valor de forma sencilla.

Además, en la siguiente tabla se indica el valor de estos coeficientes para algunas frecuencias obtenidos a partir de los cálculos indicados en dicha recomendación.

FREC. [GHz]	k (POL. V)	α (POL. V)	k (POL. H)	α (POL. H)
6	0.00155	1.265	0.00175	1.308
8	0.00395	1.310	0.00454	1.327
10	0.00887	1.264	0.0101	1.276
20	0.0691	1.065	0.0751	1.099
30	0.167	1.000	0.187	1.021
40	0.310	0.929	0.350	0.939
60	0.642	0.824	0.707	0.826
100	1.06	0.744	1.12	0.743

TABLA 22.1: VALORES DE LOS PARÁMETROS k Y α .

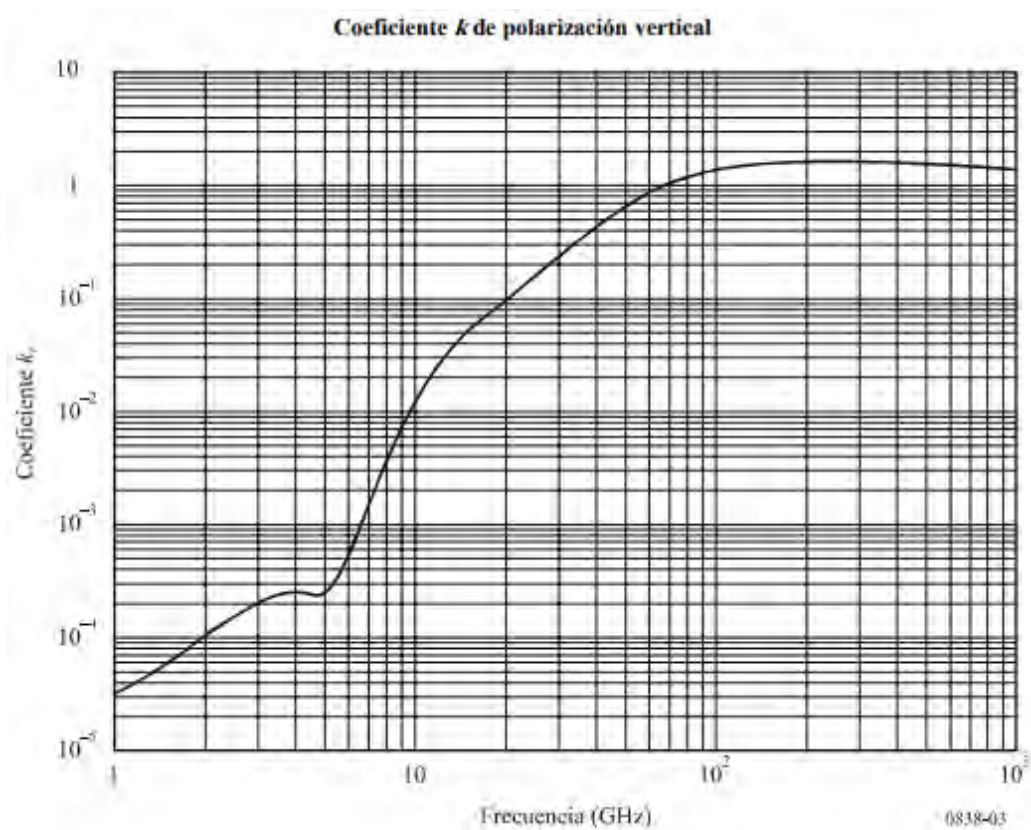


FIGURA 22.1: VALORES DE k EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN VERTICAL.

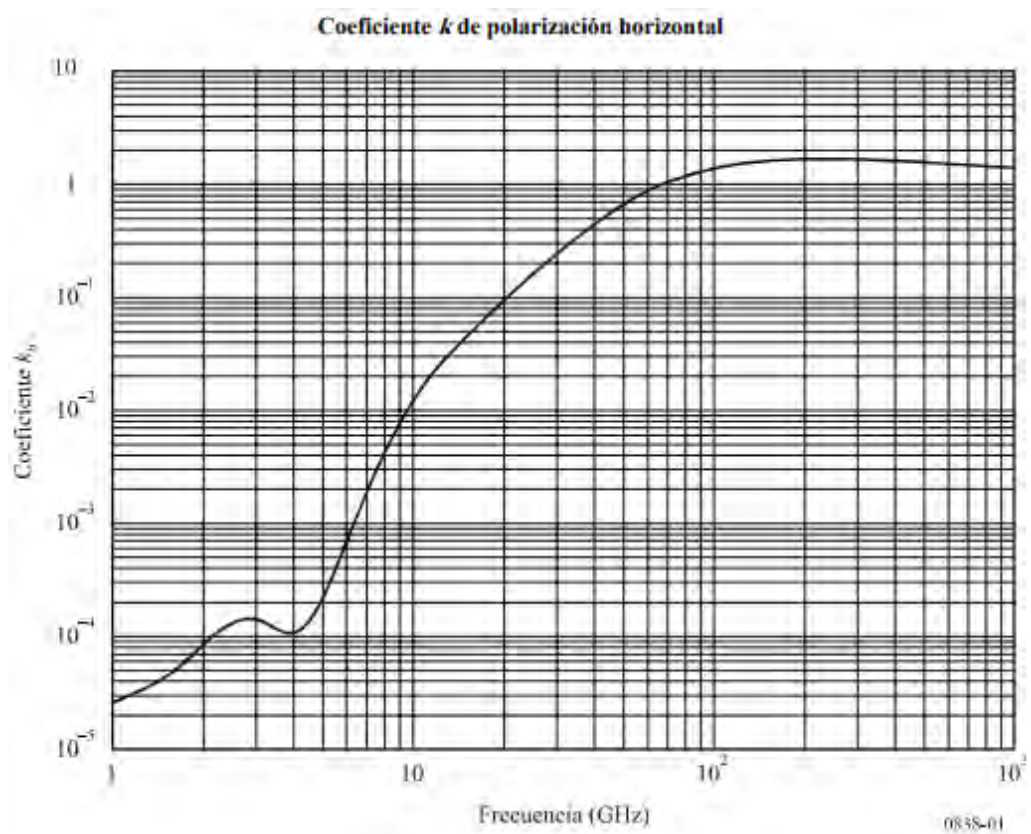


FIGURA 22.2: VALORES DE k EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

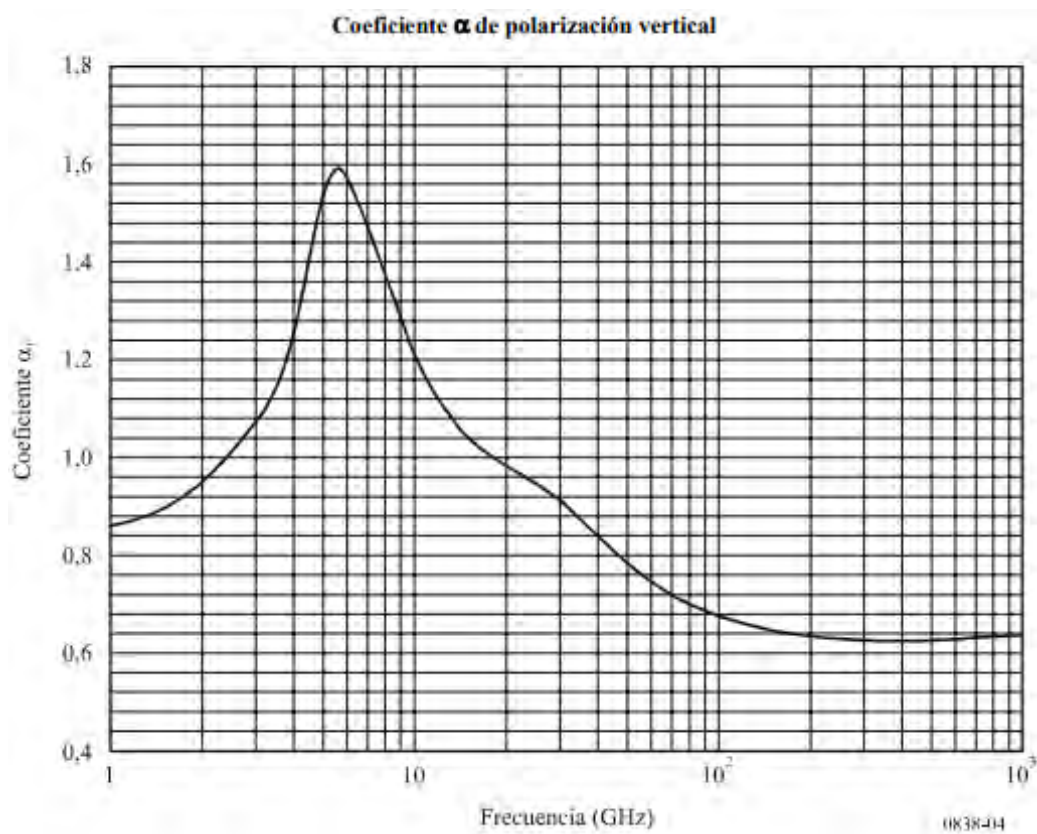


FIGURA 22.3: VALORES DE α EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN VERTICAL.

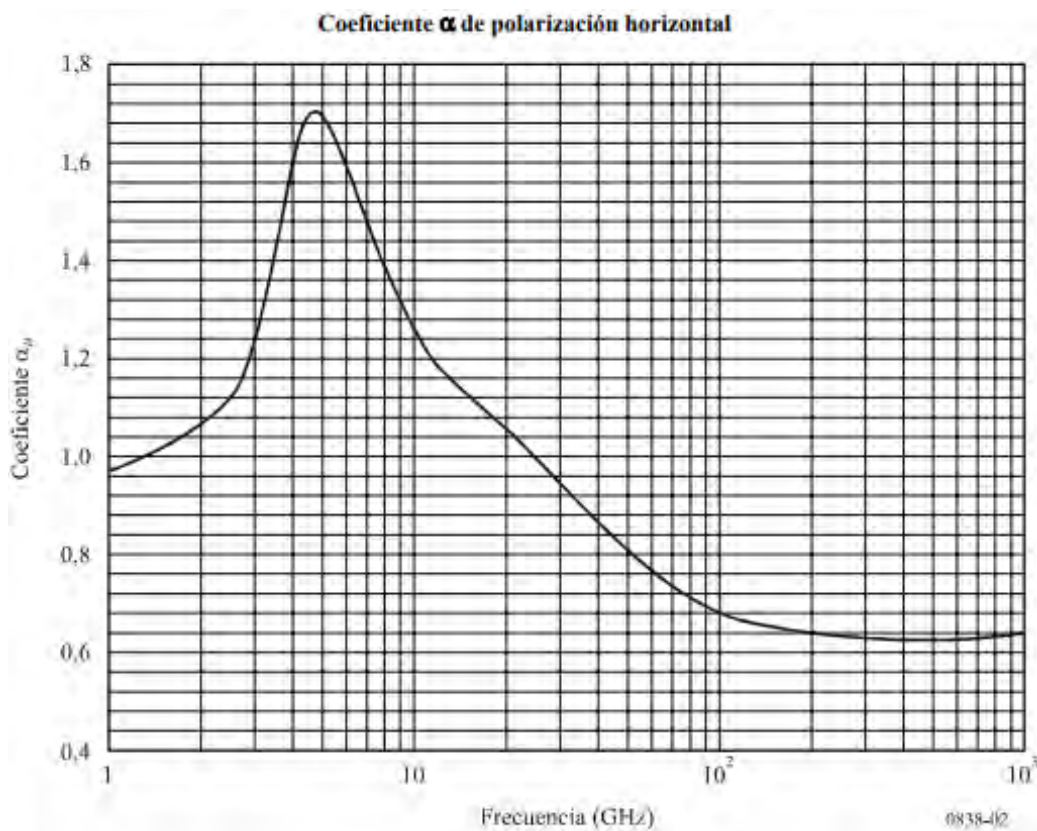


FIGURA 22.4: VALOR DE α EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

A partir de estos valores se observa que:

- La polarización vertical sufre menores pérdidas por lluvia que la polarización horizontal.
- Cuanto menor es la frecuencia, menores son las pérdidas, siendo casi imperceptibles por debajo de los 10GHz. Esto es debido a que el ángulo de refracción en el caso de portadoras a frecuencias más bajas es menor.

22.1.3. Cálculo de la intensidad de lluvia (R)

El parámetro R indica la intensidad de lluvia en una zona hidrometeorológica determinada durante un porcentaje de tiempo concreto. Los mapas que delimitan estas zonas se encuentran en la Recomendación ITU-R P.837-1. En la figura 22.5 se muestra el mapa de zonas hidrometeorológicas de Europa y la tabla 22.2 muestra los valores del parámetro R para las dos zonas de las que se compone España.

TIEMPO [%]	R (ZONA H) [mm/h]	R (ZONA K) [mm/h]
1	2	1.5
0.3	4	4.2
0.1	10	12
0.03	18	23
0.01	32	42
0.003	55	70
0.001	83	100

TABLA 22.2: VALORES DE R EN ESPAÑA.

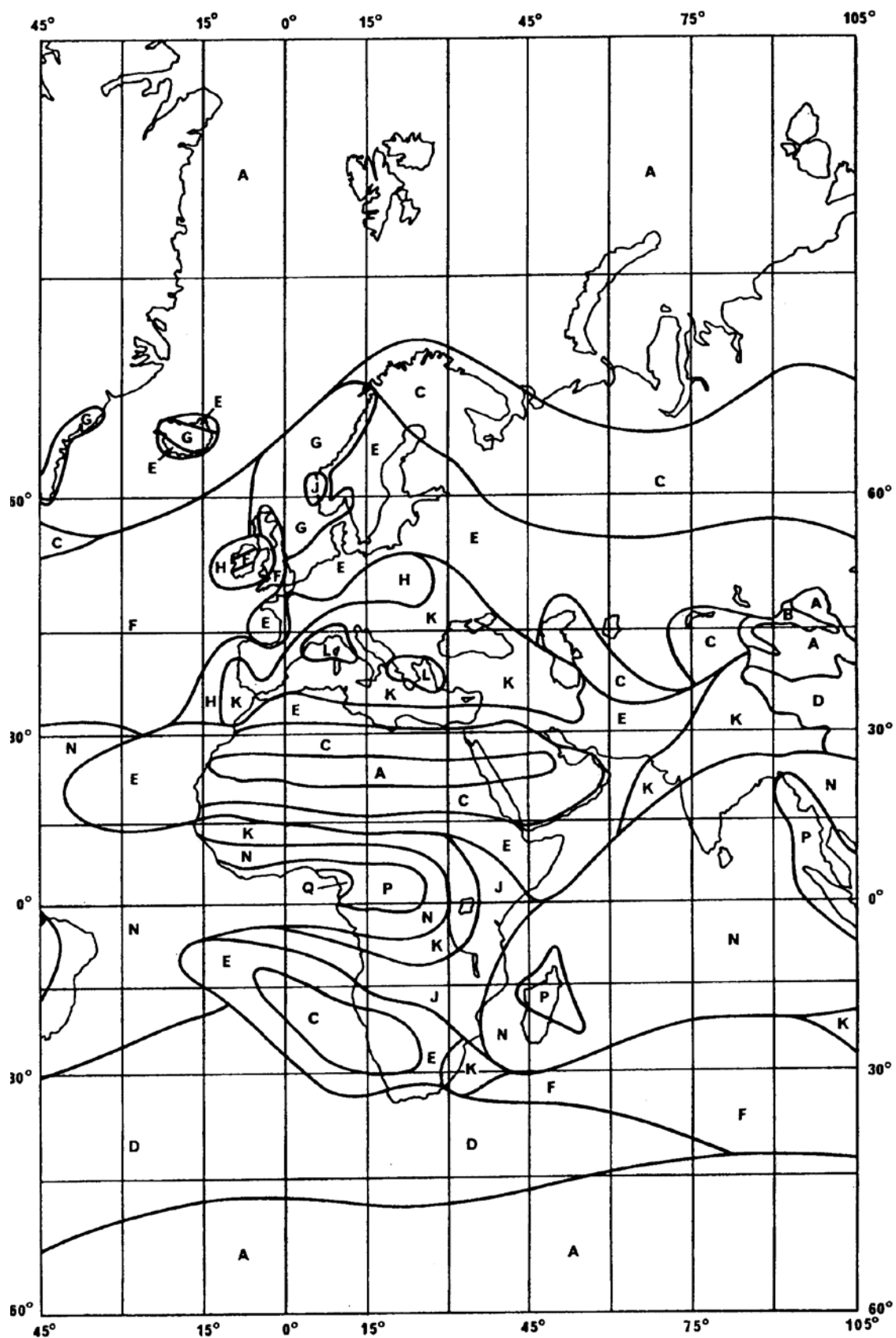


FIGURA 22.5: MAPA DE EUROPA CON DIVISI3N DE ZONAS HIDROMETEOROL3GICAS.

Normalmente se trabaja con la intensidad de lluvia para un porcentaje de tiempo del 0.01%, que además es el porcentaje de tiempo utilizado en los cálculos de la Recomendación ITU-R P.530-13.

22.1.4. Cálculo de la distancia efectiva (d_{eff})

Para el cálculo de la distancia efectiva del vano, en la Recomendación ITU-R P.530-13 se indica que debe multiplicarse la distancia real del vano por el factor de distancia r , según la ecuación 22.2.

Ecuación 22.2:

$$d_{eff} = r d_{real}$$

Donde:

d_{eff} : Es la distancia efectiva del vano.

r : Es el factor de distancia. [Ecuación 22.3]

d_{real} : Es la distancia real del vano.

Ecuación 22.3:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{d_{real}}{d_0}}$$

Donde:

d_0 : Coeficiente obtenido a partir de la ecuación 22.4.

Ecuación 22.4:

$$d_0 = 35e^{-0.015R_{0.01}}$$

Donde:

$R_{0.01}$: Es el valor del parámetro intensidad de lluvia (R) para una zona hidrometereológica determinada y un porcentaje de tiempo del 0.01%.

La gráfica de la figura 22.6 muestra la relación entre la distancia efectiva del vano y la distancia real para las zonas hidrometereológicas K y H.

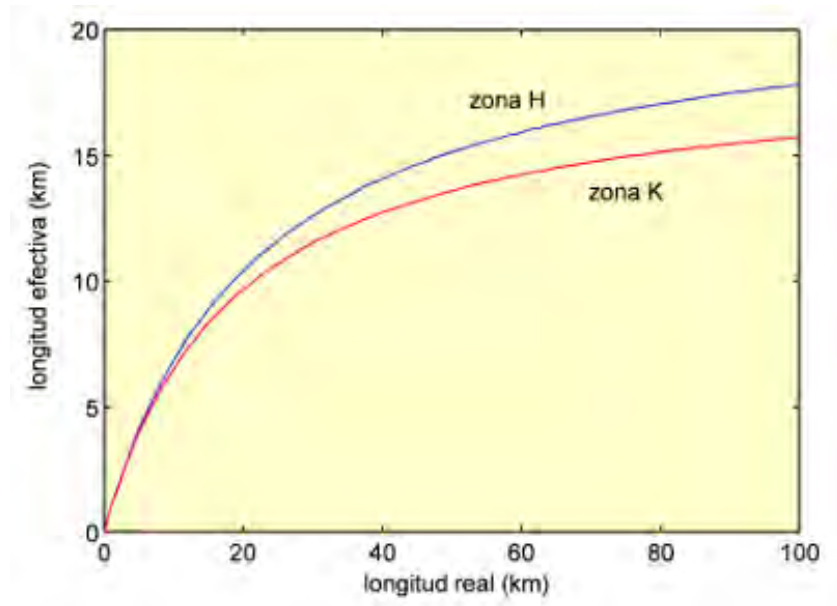


FIGURA 22.6: RELACIÓN ENTRE DISTANCIA EFECTIVA Y REAL EN LAS ZONAS HIDROMETEOROLÓGICAS K Y H.

22.2. CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR LLUVIA

La ecuación 22.5, válida para frecuencias de hasta 40Ghz y vanos de hasta 60Km de longitud, ofrece una estimación de la atenuación por lluvia para una intensidad de lluvia alcanzada durante al menos el 0.01% del tiempo en una zona determinada.

Ecuación 22.5:

$$A_{0.01} = \gamma_R d_{eff} - \gamma_R d_{real}$$

Donde:

$A_{0.01}$: Es la atenuación causada por la lluvia, considerándose la intensidad de lluvia alcanzada en una zona hidrometeorológica durante al menos el 0.01% del tiempo.

23- PÉRDIDAS EN ESPACIO LIBRE

Estas pérdidas se dan a medida que las ondas electromagnéticas avanzan por la troposfera debido a los siguientes fenómenos:

- La absorción de los gases en el medio.
- La atenuación espacial de ondas.

Las pérdidas en espacio libre se dan a medida que la onda electromagnética avanza por la troposfera y por lo tanto serán mayores en vanos más largos. A este tipo de atenuaciones de la señal se les denomina como aditivas.

23.1. ATENUACIÓN POR ABSORCIÓN DE GASES

Esta atenuación es causada por los gases y vapores atmosféricos. En la troposfera, la capa de la atmosfera por la que se propagan las ondas de radioenlaces terrestres, se encuentran gran cantidad de moléculas entre las que destacan las moléculas de oxígeno (O_2) y de vapor de agua (H_2O). Estos gases van absorbiendo la energía de las ondas electromagnéticas a medida que estas se propagan, de forma que van deteriorando la señal.

23.1.1. Cálculo de la atenuación por absorción de gases

Para el cálculo de la atenuación causada por gases en la troposfera, la Recomendación ITU-R P.530-13 facilita la siguiente ecuación:

Ecuación 23.1:

$$A = \gamma_a r$$

Donde:

A: Es la atenuación causada por la absorción de los gases de la troposfera en el radioenlace.

γ_a : Es la atenuación en [dB/Km] originada por los gases de la troposfera

r: Es la longitud del vano.

El valor de γ_a viene indicado en la Recomendación ITU-R P.676-5 y responde a la ecuación 23.2.

Ecuación 23.2:

$$\gamma_a = \gamma_o + \gamma_w$$

Donde:

γ_o : Es la atenuación en [dB/Km] causada por el aire seco, es decir, el oxígeno existente en la troposfera.

γ_w : Es la atenuación en [dB/Km] causada por el aire húmedo, es decir, el vapor de agua existente en la troposfera.

Los valores de γ_o y γ_w en función de la frecuencia, para unas condiciones de 1atm de presión, 15°C de temperatura y una densidad de vapor de agua de 7.5g/m³, quedan indicados en el gráfico de la figura 23.1.

Observando estos valores, se concluye que:

- La atenuación debida a la absorción de gases en la troposfera es independiente de la polarización utilizada.
- Por debajo de los 10GHz la atenuación es tan baja que puede considerarse despreciable.
- En general, a mayor frecuencia, mayor es la absorción. Sin embargo, las frecuencias altas se utilizan para vanos cortos, por lo tanto la atenuación total del radioenlace se compensa.
- Existe un pico de absorción a los 60GHz. Esta frecuencia corresponde a la banda V, banda licenciada que entrará en vigor próximamente.

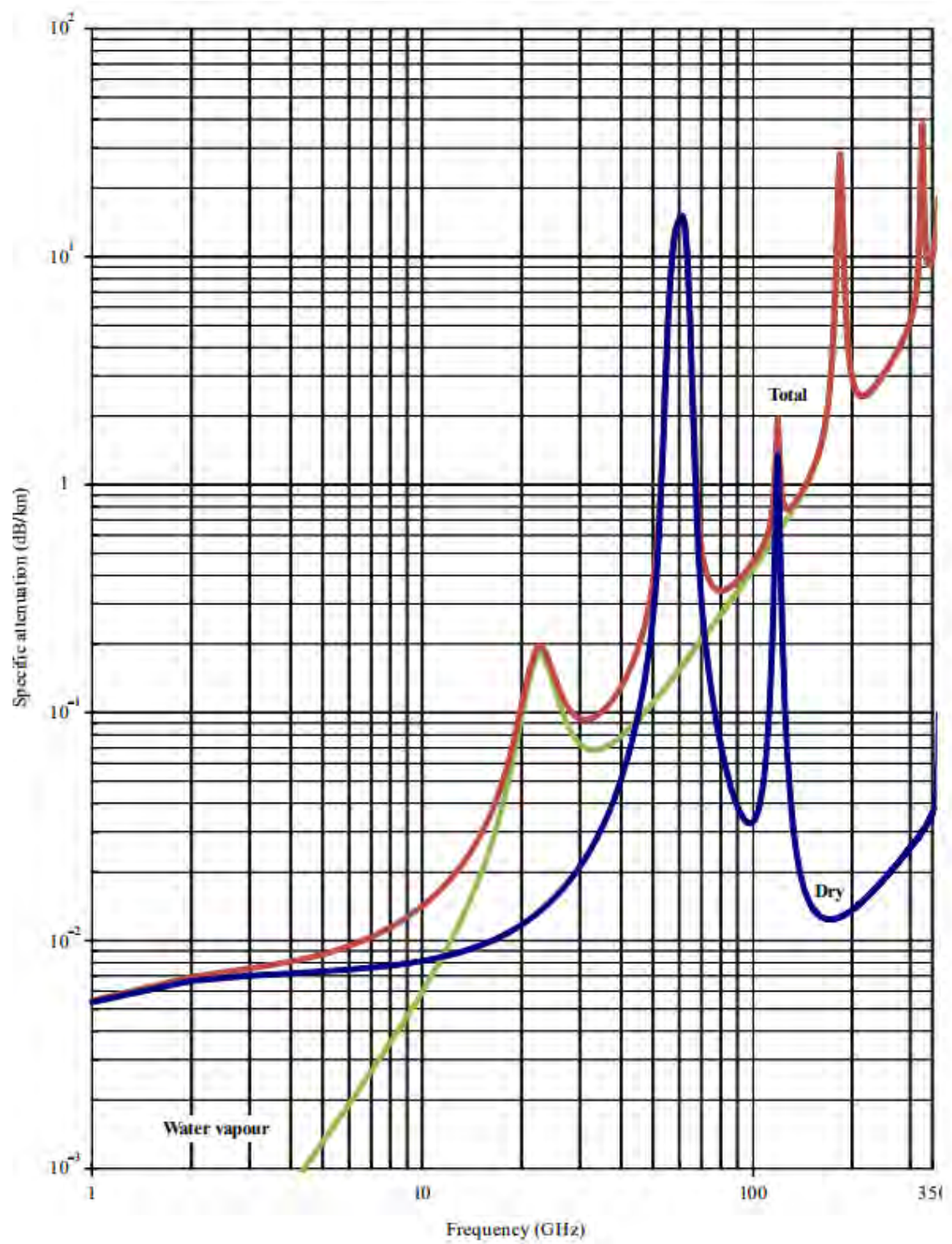


FIGURA 23.1: VALORES DE γ_o , γ_w , Y γ_a EN LA TROPOSFERA.

23.2. ATENUACIÓN ESPACIAL DE ONDAS

Este fenómeno consiste en una atenuación de la señal transmitida debido al reparto de la energía de la onda en un área que es cada vez mayor a medida que avanza por el camino de propagación, haciendo que la intensidad por unidad de superficie disminuya.

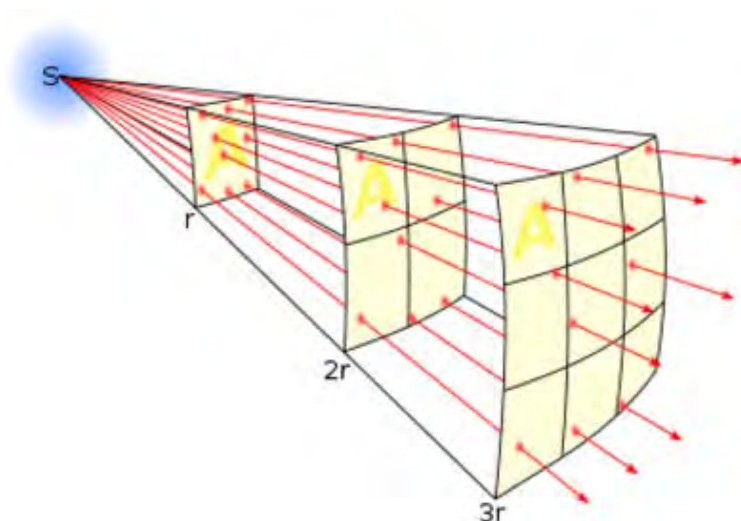


FIGURA 23.2: AUMENTO DEL ÁREA DEL FRENTE DE ONDAS Y SU CONSIGUIENTE PÉRDIDA DE INTENSIDAD.

A medida que la onda avanza y por lo tanto se va alejando de la antena transmisora, el frente de ondas es cada vez mayor y por lo tanto las ondas electromagnéticas se alejan cada vez más unas de otras. De esta forma la cantidad de ondas por unidad de área disminuye, es decir, la densidad de potencia será menor.

En el momento en el que el haz llega al receptor, el frente de ondas es mayor. Por lo tanto, la antena receptora sólo captará parte de este haz, de forma que parte de potencia transmitida se pierde.

Este efecto es el inverso al que utilizan las antenas para conseguir su ganancia. Estas concentran toda la energía de la fuente radiante en un pequeño haz para ganar en potencia.

La intensidad de una onda queda reflejada en la ecuación 23.3.

Ecuación 23.3:

$$I = \frac{P_{tx}}{A_{Haz}}$$

Donde:

I: Es la intensidad del haz.

P_{tx}: Es la potencia de transmisión.

A_{Haz}: Es el área del frente de ondas.

24- ATENUACIÓN POR VEGETACIÓN

La atenuación por vegetación se da cuando las ondas electromagnéticas de un radioenlace atraviesan una zona boscosa o de abundante vegetación. Las pérdidas son causadas por las múltiples refracciones, reflexiones y difracciones que sufre el haz de ondas al interactuar con los troncos, hojas y ramas que componen la vegetación.

Esta atenuación es siempre muy elevada, sin embargo no es muy común en radioenlaces punto a punto ya que en los estudios previos a la instalación se busca una altura de las antenas que permitan un camino de propagación libre de cualquier obstáculo, es decir con línea de visión directa.

24.1. CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR VEGETACIÓN

El cálculo exacto de la atenuación causada por la vegetación es muy complejo, pues este depende de diversos factores como son el tipo de la vegetación, (especies de árboles y/o arbustos, tipos de hojas, densidad del follaje...) y su disposición geométrica (número de plantas, posicionamiento, altura...). Por ello, cuando no sea posible evitar que una zona de vegetación intercepte con el haz de ondas, se recomienda siempre calcular la atenuación de forma empírica.

Además, los escenarios con vegetación son siempre muy variables e incluso habiendo obtenido un valor empírico de la atenuación ocasionada por esta, este valor puede variar tanto a corto plazo, por causa de del viento sobre las ramas y hojas, como a largo plazo debido al crecimiento de las plantas.

Igualmente, en la Recomendación ITU-R P.833-4 se indica la fórmula con la que se puede obtener un valor aproximado de la atenuación causada por la vegetación.

Ecuación 24.1:

$$A_{ve} = A_m \left(1 - e^{-d \frac{\gamma}{A_m}} \right)$$

Donde:

A_{ve} : Es la atenuación causada por la vegetación.

A_m : Es la atenuación máxima en un transceptor que se encuentra dentro de una zona de vegetación con determinadas características. [Ecuación 24.2]

d : Es la longitud del vano en [Km] ocupada por vegetación.

γ : Es la atenuación en [dB/Km] en trayectos cortos con vegetación.

El valor de γ varía con el tipo de vegetación, pero puede aproximarse con la gráfica de la figura 24.1.

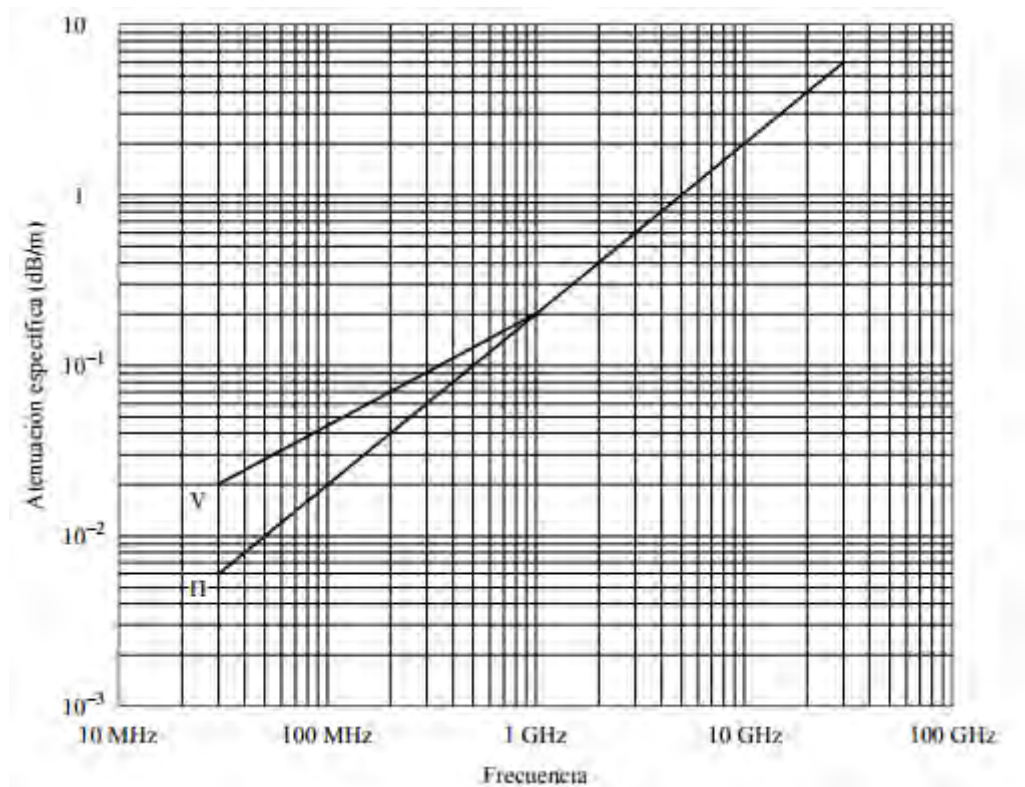


FIGURA 24.1: VALOR DE γ EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.

Puede observarse que en frecuencias de microondas el valor de este parámetro es independiente de la polarización de la portadora.

Ecuación 24.2:

$$A_m = A_1 f^\alpha$$

Donde:

A_1 y α : Son coeficientes que deben calcularse de forma empírica. No obstante, en la Recomendación ITU-R P.833-4 se ofrece el valor obtenido para estos coeficientes en ciertos escenarios que pueden tomarse como referencia.

25- INTERFERENCIAS

La interferencia es el fenómeno por el cual una o más ondas se superponen a la onda portadora dando lugar a una onda de diferente amplitud y frecuencia. Debido a los filtros en el receptor, solo afectan las ondas interferentes en una frecuencia idéntica o similar a la de la portadora.

25.1. TIPOS DE INTERFERENCIAS SEGÚN SUS EFECTOS

Atendiendo a los efectos de las ondas interferentes sobre la señal transmitida, se distinguen los siguientes tipos de interferencias:

- **Interferencia constructiva:** Se da cuando la señal interferente es una señal multirrayo de la señal transmitida que llega al receptor con un retardo tal que ambas señales están en fase y por lo tanto la señal interferente tiene un efecto amplificador. Este fenómeno puede ser aprovechado en algunas ocasiones para mejorar la potencia de recepción en un radioenlace.
- **Interferencia destructiva:** Es el caso más común en radiocomunicaciones. Se da cuando el receptor recibe distintas señales a la misma frecuencia o recibe la misma señal desfasada debido a alguna propagación multirrayo. En este caso, la señal interferente deteriora la señal en el receptor.

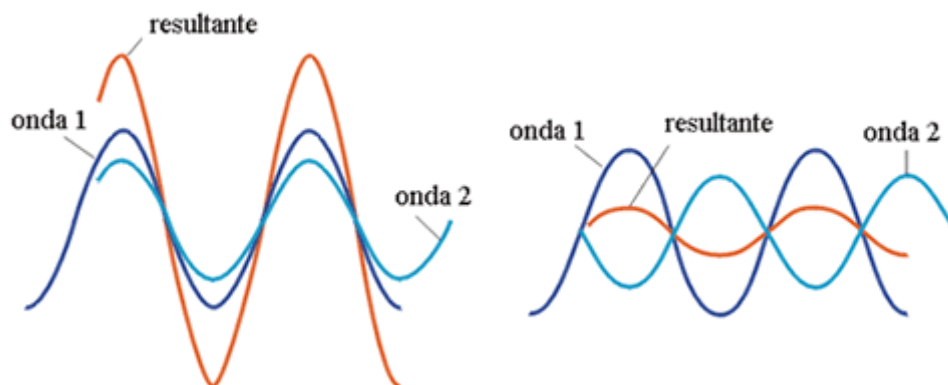


FIGURA 25.1: EFECTOS DE INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS (IZQDA) Y DESTRUCTIVAS (DCHA).

25.2. INTERFERENCIAS DESTRUCTIVAS

Son diversos los motivos que pueden causar interferencias destructivas, pero las principales fuentes de fuertes interferencias son las ODU transmisoras tanto propias como ajenas al sistema. No obstante, la SESIAD impone planes de frecuencias a fin de evitar estas interferencias entre equipos.

Según la frecuencia a la que estas trabajen con respecto a la frecuencia de la señal deseada se distingue entre dos tipos:

- **Interferencias cocanal:** Este tipo de interferencias son causadas por equipos que trabajan en el mismo canal que el equipo en el que interfieren. Estas interferencias son muy elevadas, y suelen ser causadas por equipos piratas, ya que los planes de frecuencias impiden a dos equipos colocados usar el mismo canal.
- **Interferencias de canal adyacente:** Son las interferencias causadas por un equipo que trabaja en canales adyacentes al canal en el que trabaja el equipo al que interfieren. Gracias a la precisión de los filtros y ecualizadores, la atenuación que generan estas interferencias no es muy elevada y puede ser fácilmente soportada.

25.3. CÁLCULO DE INTERFERENCIAS

Para conocer las pérdidas que estos tipos de interferencias generan, los fabricantes facilitan tablas que indican el valor del parámetro C/I , en función del ancho de banda y de la modulación, para unas pérdidas de 1dB.

El cálculo del parámetro C/I , que indica la relación entre la potencia de la portadora deseada y la potencia total de las señales interferentes, viene indicado en la Recomendación ITU-R S.741-2:

Ecuación 25.1:

$$C/I = 10 \log \left(\frac{C}{I} \right)$$

Donde:

C/I: Es la relación en [dB] entre la potencia de la portadora deseada y la interferente en el ancho de banda de la portadora deseada.

C: Es la potencia en [W] de la portadora deseada.

I: Es la potencia total en [W] de las portadoras interferentes.

En la práctica para conocer el valor de este parámetro y así poder medir la atenuación causada por las interferencias se debe medir por separado el valor de *C* y de *I*.

- **Mediciones de *C*:** Este parámetro indica la potencia de la portadora deseada en el receptor. Para conocer su valor se realiza un balance de potencias en el receptor, es decir, teniendo en cuenta la potencia de transmisión, las ganancias de las antenas y las pérdidas en el camino de propagación.
- **Mediciones de *I*:** El parámetro *I* hace referencia a la potencia de las señales interferentes. Para conocer su valor, tras la instalación del radioenlace, una vez las antenas estén alineadas y los canales de transmisión y recepción correctamente asignados a los transceptores, debe colocarse el equipo transmisor en modo “Mute-On” o “Mudo” para que deje de transmitir. A continuación se toman los valores que registra el equipo receptor de potencia de recepción. Estos valores corresponden a la potencia total de las portadoras interferentes.

Los escenarios en los que se encuentran los radioenlaces son muy variables y pueden aparecer nuevos radioenlaces que causen interferencias. Por esto, es aconsejable llevar un control del BER, del MSE y de la cantidad de bloques erróneos recibidos y realizar nuevas medidas de interferencias en caso de que estos parámetros aumenten.

ANEXO VII

TÉCNICAS DE DIVERSIDAD

26- TÉCNICAS DE DIVERSIDAD

Se conoce como técnicas de diversidad a todas aquellas técnicas aplicadas sobre radioenlaces que a base de transmitir señales paralelamente por canales adicionales multiplican el rendimiento de este.

Según a que se destinen estos canales adicionales, este mayor rendimiento puede traducirse en una mayor capacidad o en una mayor fiabilidad:

- **Mayor Capacidad:** Las señales transmitidas por los diferentes canales son distintas y complementarias, por lo tanto se consigue multiplicar la tasa binaria del radioenlace.
- **Mayor fiabilidad:** En este caso, la misma señal es transmitida por los diferentes canales. Gracias a esta redundancia se reduce el BER y por tanto aumenta la disponibilidad del radioenlace.

Aunque originalmente las técnicas de diversidad nacieron con el fin de mejorar la fiabilidad de los radioenlaces, las elevadas potencias de transmisión, sensibilidad y anchos de banda utilizados, junto con la optimización de las modulaciones y codificaciones, hacen que hoy en día los radioenlaces ya sean lo suficientemente fiables como para que estas técnicas sean aplicadas mayoritariamente cuando se persigue una mayor capacidad. Sin embargo en casos críticos como por ejemplo, radioenlaces sobre vanos marinos o en climatologías adversas, es aconsejable el uso de estas técnicas para aumentar la fiabilidad del radioenlace.

Todas estas técnicas consiguen la transmisión de señales por canales adicionales en base a la diversidad de polarización, espacial y de frecuencia. Sin embargo, también existen técnicas que surgen a partir de la combinación de estas.

27- DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN

La diversidad de polarización consiste en la transmisión simultánea tanto en polarización vertical como horizontal en la misma frecuencia.

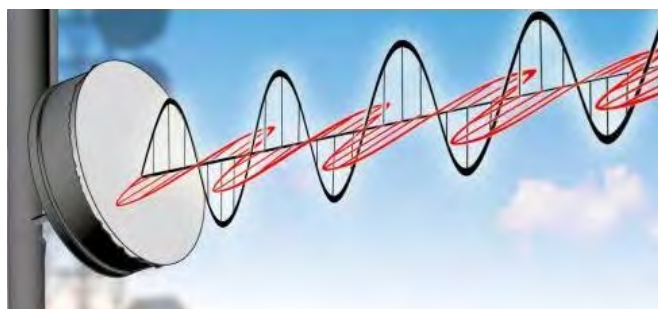


FIGURA 27.1: TRANSMISIÓN EN DOBLE POLARIZACIÓN.

Es la técnica de diversidad más utilizada para duplicar la capacidad del radioenlace debido a que los equipos dual-core permiten transmisiones en doble polarización a un bajo coste y de forma sencilla y al ahorro en la legalización por el uso de la misma frecuencia en la segunda polarización.

En transmisiones monopolares siempre es aconsejable el uso de la polarización vertical, ya que esta ofrece un mayor rendimiento frente a lluvias y propagaciones multitrayecto que la polarización horizontal. Por esta misma razón, el uso de la diversidad de polarización carece de sentido cuando el fin es una mayor fiabilidad, ya que si la transmisión polarizada verticalmente cae, también lo hará la polarizada horizontalmente.

27.1. CANCELADOR DE INTERFERENCIAS DE POLARIZACIÓN CRUZADA (XPIC)

Las transmisiones en doble polarización sufren de unas pequeñas pérdidas adicionales debido a que la componente contrapolar crea interferencias en la componente copolar de la otra polarización. A estas interferencias se las conoce como interferencia de polarización cruzada y el cálculo de las pérdidas que generan puede encontrarse en la Recomendación ITU-R P.530-13.

Aunque en las modulaciones más bajas, como QPSK, estas interferencias son tan bajas que pueden soportarse sin mayor inconveniente, en modulaciones mayores es necesario introducir en las ODUs un filtro capaz de eliminar la componente contrapolar. A este filtro se le conoce como XPIC (Cross-Polarization Interference Cancellation) y utiliza la señal recibida en la radio horizontal para eliminar la señal contrapolar recibida en la radio vertical y viceversa. Sin embargo, para modulaciones muy altas como 2048QAM, las pérdidas son tan altas que no son compatibles con el uso de la doble polarización.

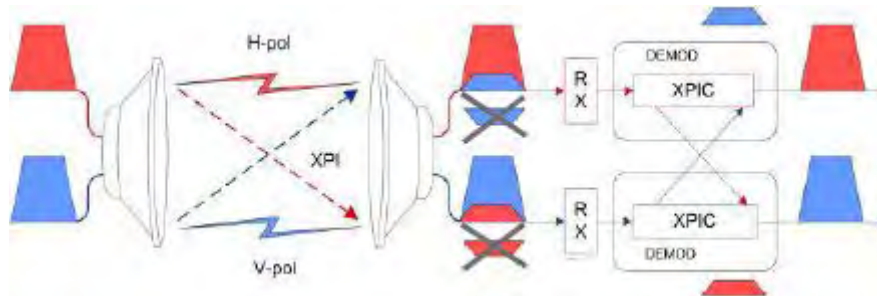


FIGURA 27.2: FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO XPIC.

27.2. EQUIPOS NECESARIOS

El uso de la doble polarización es la técnica más utilizada para duplicar la capacidad de los radioenlaces y en gran parte es debido a la poca inversión en equipos que requiere. Sin embargo, si es necesaria la instalación de ciertos accesorios y equipos especializados:

- **ODUs:** Aunque actualmente se encuentran en el mercado equipos de radio dual-core, capaces de transmitir y recibir simultáneamente en ambas polarizaciones, que abaratan la inversión en CAPEX y facilitan la instalación, también es posible una instalación con dos radios independientes. En cualquier caso, si se desean alcanzar modulaciones moderadamente altas, es necesario que cuenten con filtros XPIC.
- **OMT:** Es necesario el uso de una OMT para el acoplo de ambas polarizaciones. Esta es la encargada de separar ambas señales ortogonales en la recepción y de combinarlas en la transmisión.

- **Antenas:** Al transmitir en la misma frecuencia o en canales adyacentes, no es necesario el uso de dos antenas por emplazamiento. Sin embargo, la antena debe contar con un interfaz de doble polarización. También existen antenas que incluyen la OMT.

La Figura 27.3 muestra el esquema de una transmisión en doble polarización.

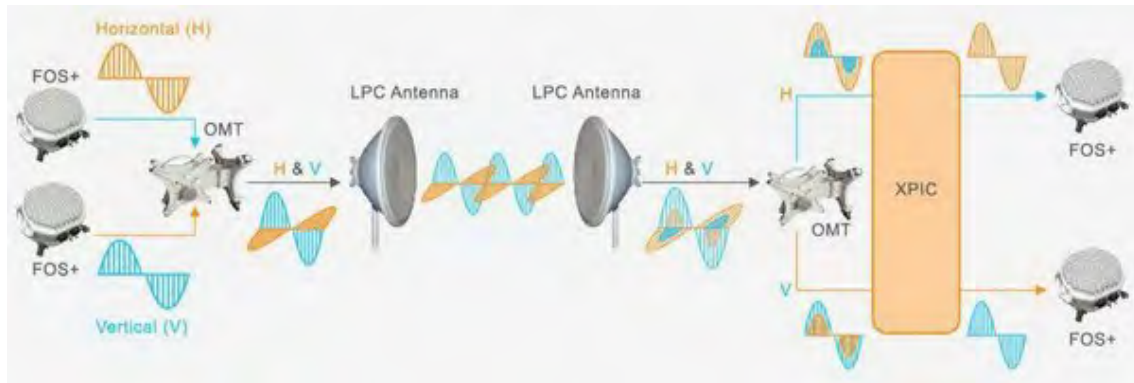


FIGURA 27.3: ESQUEMA PARA UNA TRANSMISIÓN EN DOBLE POLARIZACIÓN.

27.3. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN

Aunque en la mayoría de los casos en los se realizan transmisiones en doble polarización se utiliza la misma frecuencia para cada polarización, también es posible que se realicen sobre canales adyacentes, a fin de reducir las interferencias de polarización cruzada.

Por lo tanto se distinguen las siguientes configuraciones con diversidad de polarización:

- **2+0 CCDP (Co-Channel Dual Polarization):** Tanto la transmisión vertical como la horizontal se realizan en la misma frecuencia. Es la más utilizada, ya que aunque introduce más pérdidas por interferencias de polarización cruzada, en la legalización se obtiene un 50% de descuento en el precio por la adquisición de los derechos de uso de la segunda polarización.

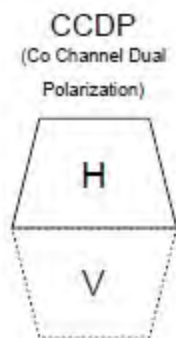
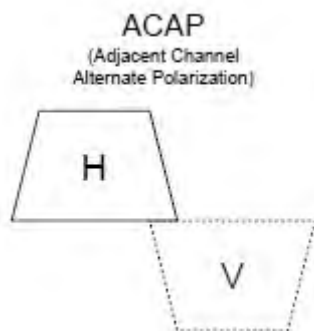


FIGURA 27.4: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN CCDP.

- **2+0 ACAP (Adjacent Channel Alternate Polarization):** Aunque al inicio de este capítulo se ha definido la diversidad de polarización como dos transmisiones en diferente polarización pero en la misma frecuencia, también es posible que cada transmisión se realice en diferentes canales adyacentes. Esta técnica, que combina la diversidad de polarización con la diversidad de frecuencia, no es común aplicarla ya que la inversión en OPEX aumenta, al no poder obtener el descuento en la segunda polarización.



MAGEN 27.5: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN ACAP.

27.4. INTENTO DE TRANSMISIÓN EN TRIPLE POLARIDAD

Hasta el momento se ha visto que las técnicas de diversidad de polarización sólo permiten duplicar la capacidad del canal ya que solamente existen dos polarizaciones lineales posibles, horizontal y vertical. A pesar de esto, se ha trabajado en técnicas para conseguir transmitir simultáneamente en una tercera polarización lineal oblicua y equidistante a las otras dos. Sin embargo, estas investigaciones no han llegado a buen

puerto ya que las interferencias por polarización cruzada son tan elevadas que las tasas de error que se obtienen no son soportables.

28- DIVERSIDAD DE FRECUENCIA

La diversidad de frecuencia consiste en la transmisión de varias señales, normalmente dos o cuatro por limitaciones técnicas de las ODUs, en portadoras a diferentes frecuencias.

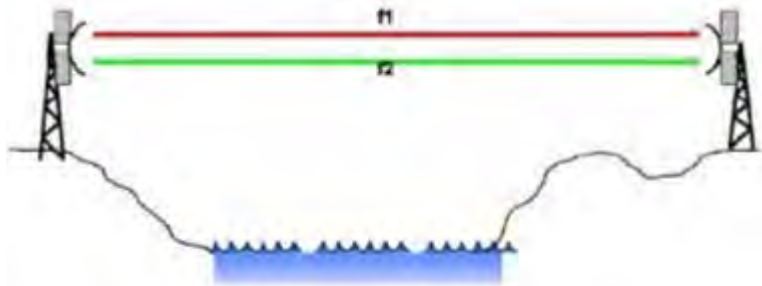


FIGURA 28.1: TRANSMISIÓN CON DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.

El uso de la diversidad en frecuencia para duplicar la capacidad de un radioenlace no es muy aconsejable, ya que existen técnicas como la diversidad de polarización, que introduce menos pérdidas y permite un ahorro del 50% en la legalización del segundo canal.

28.1. EQUIPOS NECESARIOS

Las transmisiones con diversidad de frecuencia requieren de ciertos equipos y accesorios que la hagan posible:

- **ODUs:** Puede utilizarse tanto una ODU dual-core por emplazamiento como dos ODUs mono-core por emplazamiento.
- **Splitter:** Es necesario el uso de splitters para el acoplamiento de las señales en una misma antena.
- **Antenas:** Al transmitir en frecuencias adyacentes o al menos muy cercanas, no es necesario el uso de dos antenas por emplazamiento.

28.2. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN

El esquema más utilizado de transmisión es el ACCP (Adjacent Chanel Common Polarization), el cual consigue un mayor rendimiento del radioenlace mediante una serie de transmisiones independientes en portadoras sobre canales adyacentes.

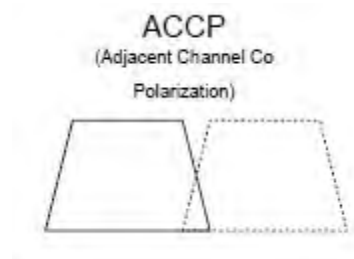


FIGURA 28.2: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN ACCP.

28.3. DIVERSIDAD DE POLARIZACIÓN Y EN FRECUENCIA

Cuando se persigue cuadruplicar la capacidad del canal, el uso de la diversidad en frecuencia junto con la diversidad de polarización es la opción más utilizada por los diseñadores de radioenlaces. Esta consiste en una transmisión sobre dos portadoras, cada una de ellas polarizada tanto en polarización vertical como horizontal. Esta configuración (4+0), requiere de OMTs y splitters que acoplen ambas polarizaciones y ambas portadoras respectivamente, en la misma antena.

Esta es la misma configuración 2+0 CCDP vista en el capítulo 27.3 pero aplicándole diversidad de frecuencia.

29- DIVERSIDAD ESPACIAL

Estas técnicas utilizan diferentes caminos de propagación para transmitir varias señales simultáneamente, a la misma frecuencia y con la misma polarización. Por lo tanto no requieren de un coste extra en la legalización.

Para conseguir los diferentes caminos de propagación, estas técnicas se aprovechan de las propiedades de la propagación multitrayecto gracias al uso de varias antenas en el transmisor y/o en el receptor. Estas antenas deben estar separadas verticalmente una cierta distancia para que exista incorrelación entre los diferentes caminos de propagación que sigan las señales. Si esto no se cumple y las antenas en el transmisor y/o en el receptor se encuentran demasiado próximas unas de otras, los caminos de propagación serán casi idénticos, perdiendo así la diversidad espacial.

Atendiendo al número de antenas transmisoras y receptoras, se distinguen cuatro tipos de sistemas. Además, para indicar el número antenas utilizadas, suele acompañarse al nombre del sistema con la expresión $(N \times M)$ donde N indica el número de antenas transmisoras y M el número de antenas receptoras.

- **SISO (Single Input and Single Output):** Son los sistemas típicos de una antena transmisora y una receptora (1×1) . No utilizan diversidad espacial.
- **SIMO (Single Input and Multiple Output):** Estos sistemas cuentan con una antena transmisora y dos o más antenas receptoras $(1 \times M)$. Estos sistemas utilizan la diversidad en recepción para conseguir una mayor fiabilidad.
- **MISO (Multiple Input and Single Output):** Gracias al uso de varias antenas en el transmisor y con una única antena en el receptor $(N \times 1)$, estos sistemas logran una mayor fiabilidad mediante técnicas de diversidad en transmisión.
- **MIMO (Multiple Input and Multiple Output):** Estos son una combinación de los dos sistemas anteriores ya que utilizan tanto técnicas de diversidad en transmisión como en recepción con el mismo número de antenas a ambos lados del vano $(N \times N)$. Según transmitan la misma señal o diferentes puede lograrse una mayor fiabilidad o mayor capacidad.

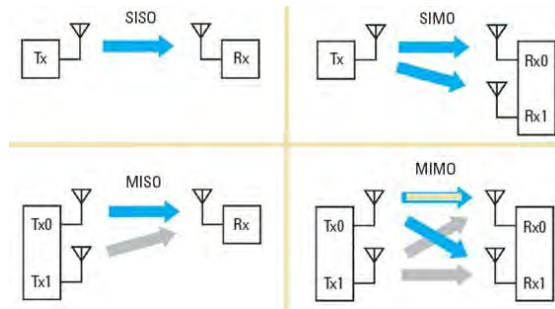


FIGURA 29.1: TIPOS DE SISTEMAS QUE APLICAN DIVERSIDAD ESPACIAL.

29.1. SIMO (SINGLE INPUT AND MULTIPLE OUTPUT)

Los sistemas SIMO son utilizados para lograr una mayor fiabilidad en sistemas asimétricos que se encuentran en escenarios desfavorables, como por ejemplo los sistemas de control de procesos en zonas marinas.

Estos sistemas usan técnicas de diversidad de recepción mediante la colocación de una única antena transmisora y dos o más antenas receptoras. La antena transmisora emite una única señal que viaja por diferentes caminos hasta que es recibida por las antenas receptoras. A continuación, las diferentes señales que han llegado a las antenas receptoras son trasladadas a los equipos donde se aplican diferentes técnicas de redundancia a fin de obtener una señal lo más parecida posible a la transmitida.

29.1.1. Técnicas de redundancia

Las técnicas de redundancia más empleadas son las siguientes:

- **Selección:** Selecciona la señal recibida por la antena que mejor recibe en base a un parámetro de calidad, BER, MSE o FM, descartando al resto de señales.

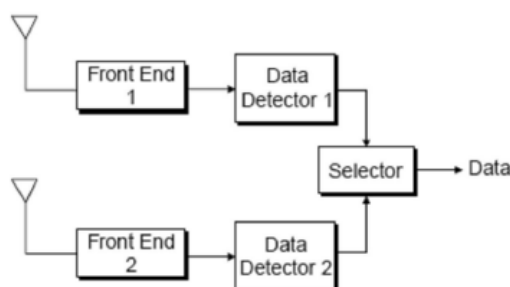


FIGURA 29.2: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR SELECCIÓN.

- **Conmutación:** Aunque el equipo receptor obtiene la señal recibida por todas las antenas, siempre se queda con la señal recibida por una de ellas. Cuando alguno de los parámetros de calidad en dicha la señal, como el BER, el MSE o el FM, disminuye hasta alcanzar cierto valor, se considera que la calidad de la señal recibida no es adecuada y entonces conmuta y se queda con la señal recibida en otra antena. Se mantendrá recibiendo de esta antena hasta que la señal que proporcione sea considerada no adecuada y conmute nuevamente.

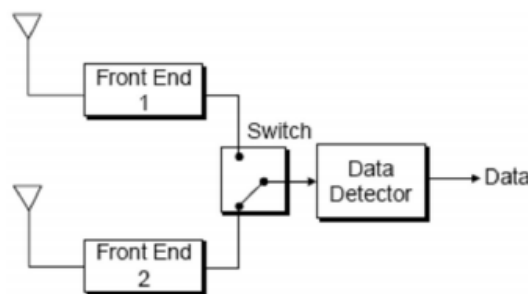


FIGURA 29.3: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR CONMUTACIÓN.

El proceso de conmutación de antena hace que el equipo se reinicie y por lo tanto se pierda señal por unos instantes. Este es el principal motivo por el cual, aunque la señal en la primera antena se recupere, el equipo siga quedándose con la señal recibida en la antena a la que acaba de conmutar. Si no fuera así, frente a situaciones de frecuentes pero breves desvanecimientos, el equipo receptor estaría reiniciándose continuamente degradando considerablemente la comunicación.

- **Combinación:** Realiza una combinación lineal y ponderada de las señales recibidas que obtiene como resultado una señal de gran similitud con la transmitida.

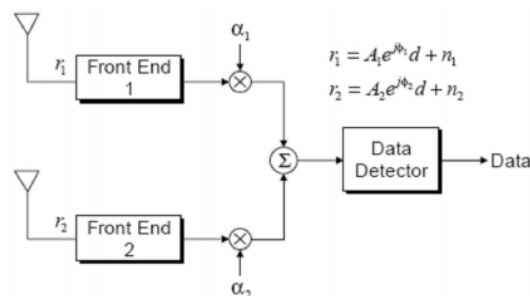


FIGURA 29.4: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR CONMUTACIÓN.

29.2. MISO (MULTIPLE INPUT AND SINGLE OUTPUT)

Al igual que en el caso anterior, estos sistemas son utilizados para lograr una mayor fiabilidad en sistemas asimétricos que se encuentran en escenarios desfavorables.

Los sistemas MISO usan técnicas de diversidad de transmisión que consisten en varias antenas transmisoras que emiten la misma señal, que viaja por diferentes caminos de propagación, hacia una única antena receptora a fin de seleccionar la señal que llega con mayor calidad.

29.2.1. Códigos STC (Space-Time Coding)

Para lograr una mayor fiabilidad, las tramas transmitidas suelen codificarse mediante códigos STC (Space-Time Coding). Estos códigos proporcionan diversidad completa y alta ganancia de codificación, explotando la respuesta al canal que proporcionan los diferentes caminos incorrelados cuando existen varias antenas transmisoras y opcionalmente varias antenas receptoras.

Existen dos tipos de códigos STC con diferentes prestaciones:

- **STTC (Space-Time Trellis Coding):** Distribuye un código trellis a cada una de las copias de la trama. Con este tipo de codificación se consigue tanto ganancia de diversidad como ganancia de codificación. Sin embargo, los códigos trellis son convolucionales, es decir, la transformación de una trama de m bits en otra de n bits depende de las k tramas anteriores, y por lo tanto requieren de un decodificador que realice un algoritmo de Viterbi sobre las tramas codificadas a fin de obtener una decodificación óptima. Debido a su complejidad, este tipo de decodificadores son bastante más costosos.
- **STBC (Space-Time Block Coding):** Todas las copias de una trama son codificadas juntas como si se tratase de un único bloque de datos. De este modo la decodificación, al ser lineal, es mucho más sencilla y menos costosa, pero únicamente consigue ganancia de diversidad.

29.3. MIMO (MULTIPLE INPUT AND MULTIPLE OUTPUT)

Los sistemas MIMO son los más empleados de entre las diferentes técnicas de diversidad espacial, pues son fácilmente integrables gracias a los equipos dual-core y permiten ganancia en capacidad o en fiabilidad.

Estos cuentan con varias antenas a ambos lados del vano para que, apoyándose en las propiedades de la propagación multitrayecto, hacen que se puedan transmitir varias señales simultáneamente, a la misma frecuencia y polarización. Estas se propagarán por diferentes caminos virtuales, a los que se les conoce como canales espaciales.

La cantidad de antenas utilizadas debe ser el mismo a ambos lados del vano. En el caso de radioenlaces punto a punto, debido a limitaciones técnicas, suelen emplearse dos antenas en cada emplazamiento. Es decir, se emplean sistemas MIMO (2x2).

29.3.1. Funcionamiento de un sistema MIMO (2x2)

Teniendo en cuenta los efectos de la propagación multitrayecto, si las antenas transmisoras emiten las señales X_1 y X_2 respectivamente y las antenas receptoras reciben las señales Y_1 y Y_2 , estas serán combinaciones lineales de las señales transmitidas que responden al siguiente sistema de ecuaciones:

Ecuación 29.1:

$$\begin{aligned} Y_1 &= d_{11}X_1 + d_{21}X_2 \\ Y_2 &= d_{12}X_1 + d_{22}X_2 \end{aligned}$$

Donde:

X_1 : Es la señal transmitida por la antena 1.

X_2 : Es la señal transmitida por la antena 2.

Y_1 : Es la señal recibida por la antena 1.

Y_2 : Es la señal recibida por la antena 2.

d_{11} , d_{12} , d_{21} y d_{22} : Son las distancias de los diferentes caminos de propagación que quedan definidos en la figura 29.5.

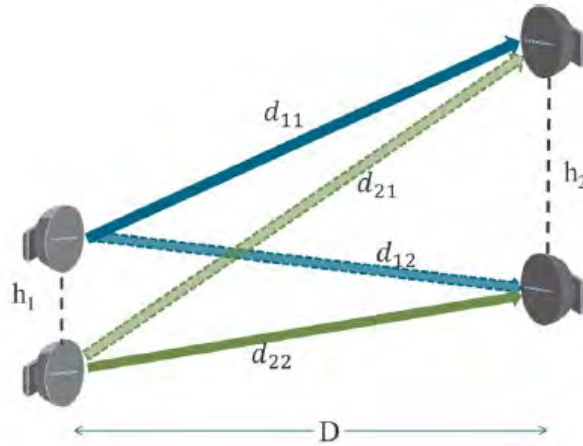


FIGURA 29.5: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DE UN SISTEMA MIMO (2x2).

Debido a que las distancias d_{11} , d_{12} , d_{21} y d_{22} son conocidas, para recuperar las señales originales X_1 y X_2 simplemente hay que resolver el sistema ecuaciones 29.1.

Para que el sistema de ecuaciones 29.1 tenga una única solución para X_1 y X_2 , el determinante de coeficientes debe ser diferente a cero.

Ecuación 29.2:

$$\begin{vmatrix} d_{11} & d_{21} \\ d_{12} & d_{22} \end{vmatrix} \neq 0$$

Esto solo se da cuando existe incorrelación entre los valores d_{11} , d_{12} , d_{21} y d_{22} , es decir cuando los diferentes caminos de propagación son lo suficientemente incorrelados.

29.3.2. Distancia entre antenas en un sistema MIMO (2x2)

Para que haya incorrelación entre los trayectos propagación y por lo tanto, el sistema sea capaz de diferenciar correctamente entre los dos caminos espaciales, las antenas deben estar separadas verticalmente la distancia adecuada.

La ecuación 29.3 indica la relación entre las distancias entre antenas en los emplazamientos que componen el vano.

Ecuación 29.3:

$$h_1 \cdot h_2 = \frac{D \cdot C}{2f}$$

Donde:

h_1 : Es la distancia entre antenas en el emplazamiento 1.

h_2 : Es la distancia entre antenas en el emplazamiento 2.

D : Es la longitud del vano.

f : Es la frecuencia de la portadora.

C : Es la velocidad de la luz.

$$C = 3 \cdot 10^8 [m/s]$$

Como los radioenlaces para el sistema fijo son full-duplex, suelen instalarse sistemas simétricos, es decir, con la misma distancia entre antenas a ambos lados del vano. De esta forma, se obtiene que $h_1 = h_2 = h_{opt}$ y por lo tanto, la ecuación 29.3, puede expresarse de la siguiente manera:

Ecuación 29.4:

$$h_{opt} = \sqrt{\frac{D \cdot C}{2f}}$$

De la ecuación 29.4 se observa que en un sistema MIMO (2x2) simétrico, la distancia óptima entre las antenas depende de la distancia del vano y de la frecuencia de transmisión. La gráfica de la figura 29.6 muestra el valor de h_{opt} en función de la distancia del vano para las frecuencias más comunes:

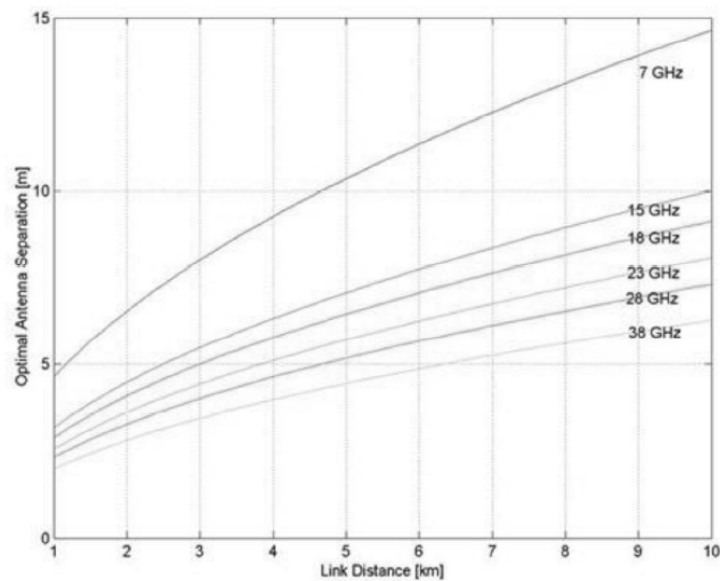


FIGURA 29.6: GRÁFICA DE DISTANCIAS ÓPTIMAS ENTRE ANTENAS EN SISTEMAS MIMO (2x2)

En ocasiones, debido a falta de espacio en torres, puede resultar imposible instalar un sistema MIMO simétrico. Cuando esto se dé, debe compensarse la menor distancia entre antenas de uno de los emplazamientos, aumentando la distancia entre antenas en el otro emplazamiento.

En caso de que esta compensación no pueda realizarse o que en ambos lados del vano la distancia entre antenas sea menor que la distancia h_{opt} , el rendimiento del radioenlace se verá comprometido. La tabla de la figura 29.7 muestra como disminuye la capacidad en función del déficit en la separación entre antenas para un sistema MIMO (2x2) modulado en 1024QAM.

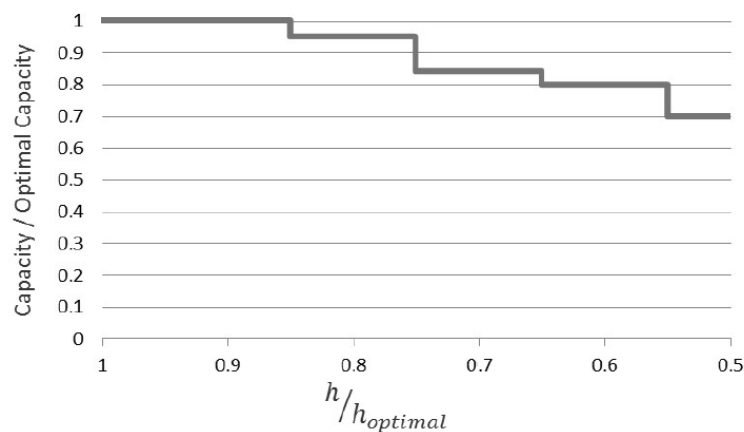


FIGURA 29.7: GRÁFICA DE CAPACIDAD DE UNN SISTEMAS MIMO (2x2) SEGÚN LA DISTANCIA ENTRE ANTENAS

En la gráfica de la figura 29.7 se observa que con una distancia entre antenas óptima, el rendimiento del sistema será del 100%, consiguiendo duplicar la capacidad de este. También se puede observar, que incluso con unas distancias entre antenas un 50% menores que la distancia óptima, el rendimiento del sistema es del 70% de forma que la capacidad del radioenlace aumentará 1.4 veces con respecto al sistema SISO equivalente.

29.3.3. Sistemas MIMO en radioenlaces punto a punto

El uso de las diferentes técnicas de diversidad espacial estaba destinado inicialmente a radioenlaces punto a multipunto. Los escenarios en los que se integran este tipo de radioenlaces suelen ser NLOS en los que existe una gran cantidad de reflexiones y refracciones que hacen que haya una gran incorrelación entre los diferentes caminos de propagación.

Debido a que los sistemas MIMO aprovechan este hecho para crear diferentes caminos espaciales, a priori, estos no deberían ser aplicables sobre radioenlaces punto a punto ya que los escenarios que estos presentan suelen ser todo lo contrario.

Para solventar este problema, las ODUs son capaces de introducir un desfase que simule el introducido por una gran cantidad de reflexiones y refracciones. Esto, unido a la separación de las antenas, hace que los diferentes caminos de propagación sean lo suficientemente incorrelados para que el sistema MIMO pueda funcionar correctamente en radioenlaces punto a punto.

A pesar de esto, son muchos los detractores de este tipo de técnicas que piensan que las técnicas de diversidad espacial deben limitarse a radioenlaces punto a multipunto.

29.3.4. Sistemas MIMO (4x4)

Debido a limitaciones técnicas, implementar un sistema MIMO (4x4) es algo realmente complicado y costoso. Sin embargo, es posible cuadruplicar el rendimiento de un radioenlace de manera sencilla y más económica aplicándole a un sistema MIMO (2x2) diversidad de polarización. Para esto, simplemente se debe realizar una transmisión MIMO con antenas que transmitan en ambas polarizaciones.

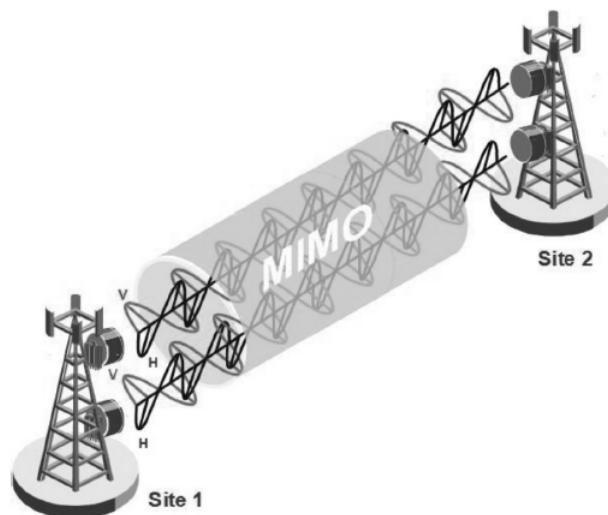


FIGURA 29.8: TRANSMISIÓN MIMO (2x2) CON DOBLE POLARIZACIÓN.

En muchas ocasiones, a esta técnica se la denominada de forma incorrecta, como MIMO (4x4).

ANEXO VIII

DOCUMENTACIÓN

30- DATASHEETS DE LAS ODUS

A continuación se adjuntan las últimas versiones de los datasheets de las ODUs de Ceragon empleadas en la presente propuesta técnica:

- FibeAir IP20-C
- FibeAir IP20-S

FibeAir IP-20C



Radio

Supported Frequency Range

6-42 GHz

Radio Configurations

1+0 to 4+0, 1+1/2+2, E/W

Radio Features

Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (up to 2+0)

Protection: 1+1 HSB/2+2 HSB

High spectral utilization: QPSK to 2048 QAM w/ACM

XPIC

2x2/4x4 LoS MIMO

Advanced Frequency Reuse (AFR)

Ethernet

Ethernet Interfaces

Traffic Interfaces – 1 x 10/100/1000Base-T (RJ-45) and 2x1000Base-X (Optical SFP) or 10/100/1000Base-T (Electrical SFP)

Management Interface - 1 x 10/100 Base-T (RJ-45)

SFP Types - Optical 1000Base-LX (1310 nm) or SX (850 nm)

Note: SFP devices must be of industrial grade (-40°C to +85°C)

Ethernet Features

MTU – 9600 Bytes

Quality of Service

- Multiple Classification criteria (VLAN ID, P-bits, IPv4 DSCP, IPv6 TC, MPLS EXP)
- 8 priority queues per port
- Deep buffering (configurable up to 64 Mbit per queue)
- WRED
- P-bit marking/remarking

4K VLANs

VLAN add/remove/translate

Frame Cut Through – controlled latency and PDV for delay sensitive applications

Header DeDuplication – Capacity boosting by eliminating inefficiency in all layers (L2,MPLS, L3,L4, Tunneling – GTP for LTE, GRE)

Y.1731 Ethernet OAM

Adaptive Bandwidth Notification (ABN, also known as EOAM)

Synchronization

Synchronization Distribution

Sync Distribution over any traffic interface (GE/FE)

SyncE (ITU-T G.8261, G.8262)

SSM/ESMC Support for ring/mesh applications (ITU-T G.8264)

SyncE Regenerator mode, providing PRC grade (ITU-T G.811) performance for smart pipe applications.

IEEE-1588

Optimized Transport for reduced PDV

IEEE-1588 TC

Standards

MEF

Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0)

Supported Ethernet Standards

10/100/1000base-T/X (IEEE 802.3)

Ethernet VLANs (IEEE 802.3ac)

Virtual LAN (VLAN, IEEE 802.1Q)

Class of service (IEEE 802.1p)

Provider bridges (QinQ – IEEE 802.1ad)

Link aggregation (IEEE 802.3ad)

Auto MDI/MDIX for 1000baseT

RFC 1349: IPv4 TOS

RFC 2474: IPv4 DSCP

RFC 2460: IPv6 Traffic Classes

Security

Radio Encryption – AES 256

Secured protocols:

- HTTPS
- SNMPv3
- SSH
- SFTP

RADIUS authentication and authorization



Standards Compliance

Radio Spectral Efficiency: EN 302 217-2-2

EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-4, Class B (Europe), FCC 47 CFR, part 15, class B (US), ICES-003, Class B (Canada), TEC/EMI/TEL-001/01, Class B (India)

Surge: EN61000-4-5, Class 4 (for PWR and ETH1/PoE ports)

Safety: EN 60950-1, IEC 60950-1, UL 60950-1, CSA-C22.2 No.60950-1, EN 60950-22, UL 60950-22, CSA C22.2.60950-22

Storage: ETSI EN 300 019-1-1 Class 1.2

Transportation: ETSI EN 300 019-1-2 Class 2.

Technical Specifications

Mechanical Specifications

Dimensions – 230mm(H), 233mm(W), 98mm(D), 6.5kg

Pole Diameter Range (for Remote Mount Installation) – 8.89 cm – 11.43 cm

Environmental Specifications

-33°C to +55°C (-45°C to +60°C extended)

Power Input Specifications

Standard Input: -48 VDC

DC Input range: -40 to -60 VDC

Power Consumption Specifications

Maximum Power Consumption (Multi-Core Operation) –

6 GHz: 65W; 7-8 GHz: 75W;

11 GHz: 65W; 13-15 GHz: 55W; 18-24 GHz: 48W;

26-42 GHz: 55W

Maximum Power Consumption (1+0 Operation) –6 GHz:

40W; 7-8 GHz: 50W;

11 GHz: 53W; 13-15 GHz: 41W; 18-24 GHz: 39W;

26-42 GHz: 41W

PoE Injector Mechanical Specifications

Dimensions – 134mm(H), 190mm(W), 62mm(D), 1 kg

PoE Injector Environmental Specifications

33°C to +55°C (-45°C to +60°C extended)

PoE Injector Power Input Specifications

Standard Input: -48 or +24 VDC (Optional)

DC Input range: $\pm(18/40.5 \text{ to } 60)$ VDC (+18VDC extended range is supported as part of the nominal +24VDC support)

PoE Injector Interfaces

GbE Data Port supporting 10/100/1000Base-T

Power-Over-Ethernet (PoE) Port

DC Power Port –40V to -60V (a PoE supporting two redundant DC feeds each supporting $\pm(18-60)$ V is available)

Product Images

IP-20C



Radio Specifications

Capacity

Notes: For full specifications, please contact your Ceragon sales representative.

	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup
Modulation	3.5 MHz		7 MHz		14 MHz	
QPSK	3-4	4-13	8-10	9-32	19-24	20-74
8 PSK	–	–	13-16	13-48	29-36	31-112
16 QAM	8-10	9-32	18-22	19-69	40-49	42-153
32 QAM	11-14	12-43	24-30	26-92	53-65	56-203
64 QAM	14-17	15-54	30-37	32-114	66-80	69-249
128 QAM	17-21	18-65	36-44	38-137	79-97	83-301
256 QAM	19-24	20-74	42-51	44-158	90-110	95-344
512 QAM	–	–	45-54	47-169	100-122	105-380
1024 QAM Strong	–	–	48-58	50-182	106-129	111-402
1024 QAM Light	–	–	51-62	53-194	112-137	118-426
Modulation	28 MHz		40 MHz		56 MHz	
QPSK	43-52	45-162	58-71	61-220	87-106	91-331
8 PSK	62-76	65-236	86-105	90-328	127-155	133-482
16 QAM	87-107	92-332	117-143	123-446	176-215	185-670
32 QAM	115-140	121-437	154-189	162-588	232-283	243-881
64 QAM	141-173	149-538	190-232	199-722	284-348	299-1000
128 QAM	170-208	179-648	229-280	241-873	344-420	361-1000
256 QAM	196-239	206-745	247-302	259-939	397-485	416-1000
512 QAM	209-255	219-794	270-330	284-1000	426-521	448-1000
1024 QAM Strong	228-278	239-866	306-375	322-1000	464-567	487-1000
1024 QAM Light	241-295	253-917	325-398	342-1000	493-602	517-1000
2048 QAM	263-321	276-1000	352-430	370-1000	534-653	561-1000
	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup			Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup
Modulation	80 MHz			Modulation	80 MHz	
QPSK	114-140	120-435		128 QAM	439-536	461-1000
8 PSK	162-198	170-618		256 QAM	505-618	531-1000
16 QAM	231-283	243-880		512 QAM	555-679	583-1000
32 QAM	304-371	319-1000		1024 QAM	604-738	634-1000
64 QAM	371-454	390-1000				

Transmit Power

Transmit Power (dBm)	Freq. (GHz)	6	7	8	10-11	13-15	18	23	24 UL	26	28-38	42
QPSK – 8 QAM		28	28	28	26	24	22	20	-17	21	18	15
16 QAM		28	27	27	26	23	21	20	-17	20	17	14
32- 128 QAM		27	26	26	25	22	20	20	-17	19	16	13
256 QAM		27	26	24	25	20	20	18	-17	17	14	11
512 QAM		25	24	24	24	20	18	18	-17	17	14	11
1024 QAM		25	24	24	23	20	18	17	-17	16	13	10
2048 QAM		23	22	22	21	18	16	16	-17	15	12	9



Receiver Threshold (RSL) (dBm @ BER = 10⁻⁶)

Frequency (GHz)	6	7	8	10	11	13	15	18	23	24UL	26	28-31	32	38	42
3.5 MHz															
QPSK	-96.5	-96.0	-96.0	-95.5	-96.5	-95.5	-94.5	-96.0	-95.0	-94.5	-94.5	-94.5	-94.0	-94.0	-93.5
16 QAM	-90.0	-89.0	-89.0	-89.0	-89.5	-88.5	-88.0	-89.0	-88.0	-87.5	-88.0	-87.5	-87.5	-87.0	-86.5
32 QAM	-86.5	-85.5	-85.5	-85.5	-86.0	-85.0	-84.5	-85.5	-84.5	-84.0	-84.5	-84.0	-84.0	-83.5	-83.0
64 QAM	-83.0	-82.5	-82.5	-82.0	-83.0	-82.0	-81.0	-82.5	-81.5	-81.0	-81.0	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0
128 QAM	-79.5	-79.0	-79.0	-78.5	-79.5	-78.5	-77.5	-79.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5
256 QAM	-76.5	-75.5	-75.5	-75.5	-76.5	-75.0	-74.5	-75.5	-75.0	-74.5	-74.5	-74.0	-74.0	-73.5	-73.0
7 MHz															
QPSK	-93.5	-93.0	-93.0	-92.5	-93.5	-92.5	-91.5	-93.0	-92.0	-91.5	-91.5	-91.5	-91.0	-91.0	-90.5
8 PSK	-87.5	-87.0	-87.0	-86.5	-87.5	-86.5	-85.5	-87.0	-86.0	-85.5	-85.5	-85.5	-85.0	-85.0	-84.5
16 QAM	-87.0	-86.5	-86.5	-86.0	-87.0	-86.0	-85.0	-86.5	-85.5	-85.0	-85.0	-85.0	-84.5	-84.5	-84.0
32 QAM	-83.5	-83.0	-83.0	-82.5	-83.5	-82.5	-81.5	-83.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.5	-81.0	-81.0	-80.5
64 QAM	-80.5	-80.0	-80.0	-79.5	-80.5	-79.5	-78.5	-80.0	-79.0	-78.5	-78.5	-78.5	-78.0	-78.0	-77.5
128 QAM	-77.5	-76.5	-76.5	-76.5	-77.5	-76.0	-75.5	-76.5	-76.0	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5	-74.0
256 QAM	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-74.0	-73.0	-72.0	-73.5	-72.5	-72.0	-72.0	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0
512 QAM	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0	-72.0	-71.0	-70.0	-71.5	-70.5	-70.0	-70.0	-70.0	-69.5	-69.5	-69.0
1024 QAM Strong	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-68.5	-67.5	-66.5	-68.0	-67.0	-66.5	-66.5	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5
1024 QAM Light	-68.0	-67.0	-67.0	-67.0	-67.5	-66.5	-66.0	-67.0	-66.0	-65.5	-66.0	-65.5	-65.5	-65.0	-64.5
14 MHz															
QPSK	-90.5	-90.0	-90.0	-89.5	-90.5	-89.5	-88.5	-90.0	-89.0	-88.5	-88.5	-88.5	-88.0	-88.0	-87.5
8 PSK	-84.5	-84.0	-84.0	-83.5	-85.5	-83.5	-82.5	-84.0	-83.0	-82.5	-82.5	-82.5	-82.0	-82.0	-81.5
16 QAM	-83.5	-83.0	-83.0	-82.5	-83.5	-82.5	-81.5	-83.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.5	-81.0	-81.0	-80.5
32 QAM	-80.5	-79.5	-79.5	-79.5	-80.5	-79.0	-78.5	-79.5	-79.0	-78.5	-78.5	-78.0	-78.0	-77.5	-77.0
64 QAM	-77.5	-76.5	-76.5	-76.5	-77.0	-76.0	-75.5	-76.5	-76.0	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5	-74.0
128 QAM	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-74.0	-73.0	-72.0	-73.5	-72.5	-72.0	-72.0	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0
256 QAM	-71.5	-70.5	-70.5	-70.5	-71.0	-70.0	-69.5	-70.5	-69.5	-69.0	-69.5	-69.0	-69.0	-68.5	-68.0
512 QAM	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-68.5	-67.5	-66.5	-68.0	-67.0	-66.5	-66.5	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5
1024 QAM Strong	-65.5	-65.0	-65.0	-64.5	-65.5	-64.5	-63.5	-65.0	-64.0	-63.5	-63.5	-63.5	-63.0	-63.0	-62.5
1024 QAM Light	-65.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.5	-63.5	-63.0	-64.0	-63.5	-63.0	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-61.5
28 MHz															
QPSK	-87.5	-87.0	-87.0	-86.5	-87.5	-86.5	-85.5	-87.0	-86.0	-85.5	-85.5	-85.5	-85.0	-85.0	-84.5
8 PSK	-83.0	-82.5	-82.5	-82.0	-83.0	-82.0	-81.0	-82.5	-81.5	-81.0	-81.0	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0
16 QAM	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0	-81.0	-79.5	-79.0	-80.5	-79.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.5	-78.0	-78.0
32 QAM	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5	-77.5	-76.0	-75.5	-77.0	-76.0	-75.5	-75.5	-75.5	-75.0	-74.5	-74.5
64 QAM	-74.5	-74.0	-74.0	-73.5	-74.5	-73.0	-72.5	-74.0	-73.0	-72.5	-72.5	-72.5	-72.0	-71.5	-71.5
128 QAM	-71.5	-70.5	-70.5	-70.5	-71.0	-70.0	-69.5	-70.5	-69.5	-69.0	-69.5	-69.0	-69.0	-68.5	-68.0
256 QAM	-68.5	-67.5	-67.5	-67.5	-68.0	-67.0	-66.5	-67.5	-66.5	-66.0	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5	-65.0
512 QAM	-66.0	-65.0	-65.0	-65.0	-66.0	-64.5	-64.0	-65.0	-64.5	-64.0	-64.0	-63.5	-63.5	-63.0	-62.5
1024 QAM Strong	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-63.0	-61.5	-61.0	-62.5	-61.5	-61.0	-61.0	-61.0	-60.5	-60.0	-60.0
1024 QAM Light	-62.0	-61.5	-61.5	-61.0	-62.0	-60.5	-60.0	-61.5	-60.5	-60.0	-60.0	-60.0	-59.5	-59.0	-59.0
2048 QAM	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5	-58.5	-57.0	-56.5	-58.0	-57.0	-56.5	-56.5	-56.5	-56.0	-55.5	-55.5



Frequency (GHz)	6	7	8	10	11	13	15	18	23	24UL	26	28-31	32	38	42
40 MHz															
QPSK	-86.0	-85.5	-85.5	-85.0	-86.0	-85.0	-84.0	-85.5	-84.5	-84.0	-84.0	-84.0	-83.5	-83.5	-83.0
8 PSK	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0	-81.0	-79.5	-79.0	-80.5	-79.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.5	-78.0	-78.0
16 QAM	-79.5	-79.0	-79.0	-78.5	-79.5	-78.0	-77.5	-79.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.5	-77.0	-76.5	-76.5
32 QAM	-76.0	-75.0	-75.0	-75.0	-75.5	-74.5	-74.0	-75.0	-74.0	-73.5	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-72.5
64 QAM	-73.0	-72.0	-72.0	-72.0	-73.0	-71.5	-71.0	-72.0	-71.5	-71.0	-71.0	-70.5	-70.5	-70.0	-69.5
128 QAM	-70.0	-69.0	-69.0	-69.0	-70.0	-68.5	-68.0	-69.0	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-67.5	-67.0	-66.5
256 QAM	-67.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.5	-65.5	-65.0	-66.0	-65.0	-64.5	-65.0	-64.5	-64.5	-64.0	-63.5
512 QAM	-64.0	-63.5	-63.5	-63.0	-64.0	-62.5	-62.0	-63.5	-62.5	-62.0	-62.0	-62.0	-61.5	-61.0	-61.0
1024 QAM Strong	-61.5	-61.0	-61.0	-60.5	-61.5	-60.0	-59.5	-61.0	-60.0	-59.5	-59.5	-59.5	-59.0	-58.5	-58.5
1024 QAM Light	-60.5	-60.0	-60.0	-59.5	-60.5	-59.5	-58.5	-60.0	-59.0	-58.5	-58.5	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5
2048 QAM	-58.0	-57.0	-57.0	-57.0	-58.0	-56.5	-56.0	-57.0	-56.5	-56.0	-56.0	-55.5	-55.5	-55.0	-54.5
56 MHz															
QPSK	-84.0	-83.5	-83.5	-83.0	-84.0	-83.0	-82.0	-83.5	-82.5	-82.0	-82.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.0
8 PSK	-80.0	-79.5	-79.5	-79.0	-80.0	-79.0	-78.0	-79.5	-78.5	-78.0	-78.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.0
16 QAM	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5	-77.5	-76.5	-75.5	-77.0	-76.0	-75.5	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5
32 QAM	-74.5	-73.5	-73.5	-73.5	-74.0	-73.0	-72.5	-73.5	-72.5	-72.0	-72.5	-72.0	-72.0	-71.5	-71.0
64 QAM	-71.0	-70.5	-70.5	-70.0	-71.0	-70.0	-69.0	-70.5	-69.5	-69.0	-69.0	-69.0	-68.5	-68.5	-68.0
128 QAM	-68.5	-67.5	-67.5	-67.5	-68.0	-67.0	-66.5	-67.5	-66.5	-66.0	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5	-65.0
256 QAM	-65.0	-64.5	-64.5	-64.0	-65.0	-64.0	-63.0	-64.5	-63.5	-63.0	-63.0	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0
512 QAM	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-63.0	-61.5	-61.0	-62.5	-61.5	-61.0	-61.0	-61.0	-60.5	-60.0	-60.0
1024 QAM Strong	-59.5	-59.0	-59.0	-58.5	-59.5	-58.5	-57.5	-59.0	-58.0	-57.5	-57.5	-57.5	-57.0	-57.0	-56.5
1024 QAM Light	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5	-58.5	-57.5	-56.5	-58.0	-57.0	-56.5	-56.5	-56.5	-56.0	-56.0	-55.5
2048 QAM	-54.0	-53.5	-53.5	-53.0	-54.0	-53.0	-52.0	-53.5	-52.5	-52.0	-52.0	-52.0	-51.5	-51.5	-51.0
Frequency (GHz)	6H	11													
80 MHz															
QPSK	-83.5	-83.5													
8 PSK	-78.0	-78.0													
16 QAM	-76.5	-76.5													
32 QAM	-73.0	-73.0													
64 QAM	-70.0	-70.0													
128 QAM	-67.5	-67.0													
256 QAM	-64.5	-64.5													
512 QAM	-62.0	-61.5													
1024 QAM Strong	-58.5	-58.5													
1024 QAM Light	-58.0	-58.0													



FibeAir IP-20S



Radio

Supported Frequency Range

6-42 GHz

Radio Configurations

1+0, 1+1, 2+0 SP or DP (No XPIC)

Radio Features

Protection: 1+1 HSB

High spectral utilization: QPSK to 2048 QAM w/ACM

Advanced Frequency Reuse (AFR) (Tail Site)

Ethernet

Ethernet Interfaces

Traffic Interfaces – 1 x 10/100/1000Base-T (RJ-45) and 2x1000Base-X (Optical SFP) or 10/100/1000Base-T (Electrical SFP)

Management Interface - 1 x 10/100 Base-T (RJ-45)

SFP Types - Optical 1000Base-LX (1310 nm) or SX (850 nm)

Note: SFP devices must be of industrial grade (-40°C to +85°C)

Ethernet Features

MTU – 9600 Bytes

Quality of Service

- Multiple Classification criteria (VLAN ID, P-bits, IPv4 DSCP, IPv6 TC, MPLS EXP)
- 8 priority queues per port
- Deep buffering (configurable up to 64 Mbit per queue)
- WRED
- P-bit marking/remarking

4K VLANs

VLAN add/remove/translate

Frame Cut Through – controlled latency and PDV for delay sensitive applications

Header DeDuplication – Capacity boosting by eliminating inefficiency in all layers (L2,MPLS, L3,L4, Tunneling – GTP for LTE, GRE)

Y.1731 Ethernet OAM

Adaptive Bandwidth Notification ABN, also known as EOAM)

Synchronization

Synchronization Distribution

Sync Distribution over any traffic interface (GE/FE)

SyncE (ITU-T G.8261, G.8262)

SSM/ESMC Support for ring/mesh applications (ITU-T G.8264)

SyncE Regenerator mode, providing PRC grade (ITU-T G.811) performance for smart pipe applications.

IEEE-1588

Optimized Transport for reduced PDV

IEEE-1588 TC

Standards

MEF

Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0)

Supported Ethernet Standards

10/100/1000base-T/X (IEEE 802.3)

Ethernet VLANs (IEEE 802.3ac)

Virtual LAN (VLAN, IEEE 802.1Q)

Class of service (IEEE 802.1p)

Provider bridges (QinQ – IEEE 802.1ad)

Link aggregation (IEEE 802.3ad)

Auto MDI/MDIX for 1000baseT

RFC 1349: IPv4 TOS

RFC 2474: IPv4 DSCP

RFC 2460: IPv6 Traffic Classes

Security

Radio Encryption – AES 256

Secured protocols:

- HTTPS
- SNMPv3
- SSH
- SFTP

RADIUS authentication and authorization



Standards Compliance

Radio Spectral Efficiency: EN 302 217-2-2

EMC: EN 301 489-1, EN 301 489-4, Class B (Europe), FCC 47 CFR, part 15, class B (US), ICES-003, Class B (Canada), TEC/EMI/TEL-001/01, Class B (India)

Surge: EN61000-4-5, Class 4 (for PWR and ETH1/PoE ports)

Safety: EN 60950-1, IEC 60950-1, UL 60950-1, CSA-C22.2 No.60950-1, EN 60950-22, UL 60950-22, CSA C22.2.60950-22

Storage: ETSI EN 300 019-1-1 Class 1.2

Transportation: ETSI EN 300 019-1-2 Class 2.

Technical Specifications

Mechanical Specifications

Dimensions – 230mm(H), 233mm(W), 98mm(D), 6kg

Pole Diameter Range (for Remote Mount Installation) – 8.89 cm – 11.43 cm

Environmental Specifications

-33°C to +55°C (-45°C to +60°C extended)

Power Input Specifications

Standard Input: -48 VDC

DC Input range: -40 to -60 VDC

Power Consumption Specifications

Maximum Power Consumption (1+0 Operation) – 6-11 GHz: 35W; 13-42 GHz: 42W

PoE Injector Mechanical Specifications

Dimensions – 134mm(H), 190mm(W), 62mm(D), 1 kg

PoE Injector Environmental Specifications

33°C to +55°C (-45°C to +60°C extended)

PoE Injector Power Input Specifications

Standard Input: -48 or +24 VDC (Optional)

DC Input range: $\pm(18/40.5 \text{ to } 60)$ VDC (+18VDC extended range is supported as part of the nominal +24VDC support)

PoE Injector Interfaces

GbE Data Port supporting 10/100/1000Base-T

Power-Over-Ethernet (PoE) Port

DC Power Port -40V to -60V (a PoE supporting two redundant DC feeds each supporting $\pm(18-60)$ V is available)

Product Images

IP-20S



Radio Specifications

Capacity

Notes: For full specifications, please contact your Ceragon sales representative.

	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup
Modulation	3.5 MHz		7 MHz		14 MHz	
QPSK	3-4	4-13	8-10	9-32	19-24	20-74
8 PSK	–	–	13-16	13-48	29-36	31-112
16 QAM	8-10	9-32	18-22	19-69	40-49	42-153
32 QAM	11-14	12-43	24-30	26-92	53-65	56-203
64 QAM	14-17	15-54	30-37	32-114	66-80	69-249
128 QAM	17-21	18-65	36-44	38-137	79-97	83-301
256 QAM	19-24	20-74	42-51	44-158	90-110	95-344
512 QAM	–	–	45-54	47-169	100-122	105-380
1024 QAM Strong	–	–	48-58	50-182	106-129	111-402
1024 QAM Light	–	–	51-62	53-194	112-137	118-426
Modulation	28 MHz		40 MHz		56 MHz	
QPSK	43-52	45-162	58-71	61-220	87-106	91-331
8 PSK	62-76	65-236	86-105	90-328	127-155	133-482
16 QAM	87-107	92-332	117-143	123-446	176-215	185-670
32 QAM	115-140	121-437	154-189	162-588	232-283	243-881
64 QAM	141-173	149-538	190-232	199-722	284-348	299-1000
128 QAM	170-208	179-648	229-280	241-873	344-420	361-1000
256 QAM	196-239	206-745	247-302	259-939	397-485	416-1000
512 QAM	209-255	219-794	270-330	284-1000	426-521	448-1000
1024 QAM Strong	228-278	239-866	306-375	322-1000	464-567	487-1000
1024 QAM Light	241-295	253-917	325-398	342-1000	493-602	517-1000
2048 QAM	263-321	276-1000	352-430	370-1000	534-653	561-1000
	Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup			Capacity (Mbps)	Capacity De-Dup
Modulation	80 MHz			Modulation	80 MHz	
QPSK	114-140	120-435		128 QAM	439-536	461-1000
8 PSK	162-198	170-618		256 QAM	505-618	531-1000
16 QAM	231-283	243-880		512 QAM	555-679	583-1000
32 QAM	304-371	319-1000		1024 QAM	604-738	634-1000
64 QAM	371-454	390-1000				

Transmit Power

Transmit Power (dBm)	Freq. (GHz)	6	7	8	10-11	13-15	18	23	24 UL	26	28-38	42
QPSK – 8 QAM		28	28	28	26	24	22	20	-17	21	18	15
16 QAM		28	27	27	26	23	21	20	-17	20	17	14
32- 128 QAM		27	26	26	25	22	20	20	-17	19	16	13
256 QAM		27	26	24	25	20	20	18	-17	17	14	11
512 QAM		25	24	24	24	20	18	18	-17	17	14	11
1024 QAM		25	24	24	23	20	18	17	-17	16	13	10
2048 QAM		23	22	22	21	18	16	16	-17	15	12	9



Receiver Threshold (RSL) (dBm @ BER = 10⁻⁶)

Frequency (GHz)	6	7	8	10	11	13	15	18	23	24UL	26	28-31	32	38	42
3.5 MHz															
QPSK	-96.5	-96.0	-96.0	-95.5	-96.5	-95.5	-94.5	-96.0	-95.0	-94.5	-94.5	-94.5	-94.0	-94.0	-93.5
16 QAM	-90.0	-89.0	-89.0	-89.0	-89.5	-88.5	-88.0	-89.0	-88.0	-87.5	-88.0	-87.5	-87.5	-87.0	-86.5
32 QAM	-86.5	-85.5	-85.5	-85.5	-86.0	-85.0	-84.5	-85.5	-84.5	-84.0	-84.5	-84.0	-84.0	-83.5	-83.0
64 QAM	-83.0	-82.5	-82.5	-82.0	-83.0	-82.0	-81.0	-82.5	-81.5	-81.0	-81.0	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0
128 QAM	-79.5	-79.0	-79.0	-78.5	-79.5	-78.5	-77.5	-79.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5
256 QAM	-76.5	-75.5	-75.5	-75.5	-76.5	-75.0	-74.5	-75.5	-75.0	-74.5	-74.5	-74.0	-74.0	-73.5	-73.0
7 MHz															
QPSK	-93.5	-93.0	-93.0	-92.5	-93.5	-92.5	-91.5	-93.0	-92.0	-91.5	-91.5	-91.5	-91.0	-91.0	-90.5
8 PSK	-87.5	-87.0	-87.0	-86.5	-87.5	-86.5	-85.5	-87.0	-86.0	-85.5	-85.5	-85.5	-85.0	-85.0	-84.5
16 QAM	-87.0	-86.5	-86.5	-86.0	-87.0	-86.0	-85.0	-86.5	-85.5	-85.0	-85.0	-85.0	-84.5	-84.5	-84.0
32 QAM	-83.5	-83.0	-83.0	-82.5	-83.5	-82.5	-81.5	-83.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.5	-81.0	-81.0	-80.5
64 QAM	-80.5	-80.0	-80.0	-79.5	-80.5	-79.5	-78.5	-80.0	-79.0	-78.5	-78.5	-78.5	-78.0	-78.0	-77.5
128 QAM	-77.5	-76.5	-76.5	-76.5	-77.5	-76.0	-75.5	-76.5	-76.0	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5	-74.0
256 QAM	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-74.0	-73.0	-72.0	-73.5	-72.5	-72.0	-72.0	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0
512 QAM	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0	-72.0	-71.0	-70.0	-71.5	-70.5	-70.0	-70.0	-70.0	-69.5	-69.5	-69.0
1024 QAM Strong	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-68.5	-67.5	-66.5	-68.0	-67.0	-66.5	-66.5	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5
1024 QAM Light	-68.0	-67.0	-67.0	-67.0	-67.5	-66.5	-66.0	-67.0	-66.0	-65.5	-66.0	-65.5	-65.5	-65.0	-64.5
14 MHz															
QPSK	-90.5	-90.0	-90.0	-89.5	-90.5	-89.5	-88.5	-90.0	-89.0	-88.5	-88.5	-88.5	-88.0	-88.0	-87.5
8 PSK	-84.5	-84.0	-84.0	-83.5	-85.5	-83.5	-82.5	-84.0	-83.0	-82.5	-82.5	-82.5	-82.0	-82.0	-81.5
16 QAM	-83.5	-83.0	-83.0	-82.5	-83.5	-82.5	-81.5	-83.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.5	-81.0	-81.0	-80.5
32 QAM	-80.5	-79.5	-79.5	-79.5	-80.5	-79.0	-78.5	-79.5	-79.0	-78.5	-78.5	-78.0	-78.0	-77.5	-77.0
64 QAM	-77.5	-76.5	-76.5	-76.5	-77.0	-76.0	-75.5	-76.5	-76.0	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5	-74.0
128 QAM	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-74.0	-73.0	-72.0	-73.5	-72.5	-72.0	-72.0	-72.0	-71.5	-71.5	-71.0
256 QAM	-71.5	-70.5	-70.5	-70.5	-71.0	-70.0	-69.5	-70.5	-69.5	-69.0	-69.5	-69.0	-69.0	-68.5	-68.0
512 QAM	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-68.5	-67.5	-66.5	-68.0	-67.0	-66.5	-66.5	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5
1024 QAM Strong	-65.5	-65.0	-65.0	-64.5	-65.5	-64.5	-63.5	-65.0	-64.0	-63.5	-63.5	-63.5	-63.0	-63.0	-62.5
1024 QAM Light	-65.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.5	-63.5	-63.0	-64.0	-63.5	-63.0	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-61.5
28 MHz															
QPSK	-87.5	-87.0	-87.0	-86.5	-87.5	-86.5	-85.5	-87.0	-86.0	-85.5	-85.5	-85.5	-85.0	-85.0	-84.5
8 PSK	-83.0	-82.5	-82.5	-82.0	-83.0	-82.0	-81.0	-82.5	-81.5	-81.0	-81.0	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0
16 QAM	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0	-81.0	-79.5	-79.0	-80.5	-79.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.5	-78.0	-78.0
32 QAM	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5	-77.5	-76.0	-75.5	-77.0	-76.0	-75.5	-75.5	-75.5	-75.0	-74.5	-74.5
64 QAM	-74.5	-74.0	-74.0	-73.5	-74.5	-73.0	-72.5	-74.0	-73.0	-72.5	-72.5	-72.5	-72.0	-71.5	-71.5
128 QAM	-71.5	-70.5	-70.5	-70.5	-71.0	-70.0	-69.5	-70.5	-69.5	-69.0	-69.5	-69.0	-69.0	-68.5	-68.0
256 QAM	-68.5	-67.5	-67.5	-67.5	-68.0	-67.0	-66.5	-67.5	-66.5	-66.0	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5	-65.0
512 QAM	-66.0	-65.0	-65.0	-65.0	-66.0	-64.5	-64.0	-65.0	-64.5	-64.0	-64.0	-63.5	-63.5	-63.0	-62.5
1024 QAM Strong	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-63.0	-61.5	-61.0	-62.5	-61.5	-61.0	-61.0	-61.0	-60.5	-60.0	-60.0
1024 QAM Light	-62.0	-61.5	-61.5	-61.0	-62.0	-60.5	-60.0	-61.5	-60.5	-60.0	-60.0	-60.0	-59.5	-59.0	-59.0
2048 QAM	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5	-58.5	-57.0	-56.5	-58.0	-57.0	-56.5	-56.5	-56.5	-56.0	-55.5	-55.5



Frequency (GHz)	6	7	8	10	11	13	15	18	23	24UL	26	28-31	32	38	42
40 MHz															
QPSK	-86.0	-85.5	-85.5	-85.0	-86.0	-85.0	-84.0	-85.5	-84.5	-84.0	-84.0	-84.0	-83.5	-83.5	-83.0
8 PSK	-81.0	-80.5	-80.5	-80.0	-81.0	-79.5	-79.0	-80.5	-79.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.5	-78.0	-78.0
16 QAM	-79.5	-79.0	-79.0	-78.5	-79.5	-78.0	-77.5	-79.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.5	-77.0	-76.5	-76.5
32 QAM	-76.0	-75.0	-75.0	-75.0	-75.5	-74.5	-74.0	-75.0	-74.0	-73.5	-74.0	-73.5	-73.5	-73.0	-72.5
64 QAM	-73.0	-72.0	-72.0	-72.0	-73.0	-71.5	-71.0	-72.0	-71.5	-71.0	-71.0	-70.5	-70.5	-70.0	-69.5
128 QAM	-70.0	-69.0	-69.0	-69.0	-70.0	-68.5	-68.0	-69.0	-68.5	-68.0	-68.0	-67.5	-67.5	-67.0	-66.5
256 QAM	-67.0	-66.0	-66.0	-66.0	-66.5	-65.5	-65.0	-66.0	-65.0	-64.5	-65.0	-64.5	-64.5	-64.0	-63.5
512 QAM	-64.0	-63.5	-63.5	-63.0	-64.0	-62.5	-62.0	-63.5	-62.5	-62.0	-62.0	-62.0	-61.5	-61.0	-61.0
1024 QAM Strong	-61.5	-61.0	-61.0	-60.5	-61.5	-60.0	-59.5	-61.0	-60.0	-59.5	-59.5	-59.5	-59.0	-58.5	-58.5
1024 QAM Light	-60.5	-60.0	-60.0	-59.5	-60.5	-59.5	-58.5	-60.0	-59.0	-58.5	-58.5	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5
2048 QAM	-58.0	-57.0	-57.0	-57.0	-58.0	-56.5	-56.0	-57.0	-56.5	-56.0	-56.0	-55.5	-55.5	-55.0	-54.5
56 MHz															
QPSK	-84.0	-83.5	-83.5	-83.0	-84.0	-83.0	-82.0	-83.5	-82.5	-82.0	-82.0	-82.0	-81.5	-81.5	-81.0
8 PSK	-80.0	-79.5	-79.5	-79.0	-80.0	-79.0	-78.0	-79.5	-78.5	-78.0	-78.0	-78.0	-77.5	-77.5	-77.0
16 QAM	-77.5	-77.0	-77.0	-76.5	-77.5	-76.5	-75.5	-77.0	-76.0	-75.5	-75.5	-75.5	-75.0	-75.0	-74.5
32 QAM	-74.5	-73.5	-73.5	-73.5	-74.0	-73.0	-72.5	-73.5	-72.5	-72.0	-72.5	-72.0	-72.0	-71.5	-71.0
64 QAM	-71.0	-70.5	-70.5	-70.0	-71.0	-70.0	-69.0	-70.5	-69.5	-69.0	-69.0	-69.0	-68.5	-68.5	-68.0
128 QAM	-68.5	-67.5	-67.5	-67.5	-68.0	-67.0	-66.5	-67.5	-66.5	-66.0	-66.5	-66.0	-66.0	-65.5	-65.0
256 QAM	-65.0	-64.5	-64.5	-64.0	-65.0	-64.0	-63.0	-64.5	-63.5	-63.0	-63.0	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0
512 QAM	-63.0	-62.5	-62.5	-62.0	-63.0	-61.5	-61.0	-62.5	-61.5	-61.0	-61.0	-61.0	-60.5	-60.0	-60.0
1024 QAM Strong	-59.5	-59.0	-59.0	-58.5	-59.5	-58.5	-57.5	-59.0	-58.0	-57.5	-57.5	-57.5	-57.0	-57.0	-56.5
1024 QAM Light	-58.5	-58.0	-58.0	-57.5	-58.5	-57.5	-56.5	-58.0	-57.0	-56.5	-56.5	-56.5	-56.0	-56.0	-55.5
2048 QAM	-54.0	-53.5	-53.5	-53.0	-54.0	-53.0	-52.0	-53.5	-52.5	-52.0	-52.0	-52.0	-51.5	-51.5	-51.0
Frequency (GHz)	6H	11													
80 MHz															
QPSK	-83.5	-83.5													
8 PSK	-78.0	-78.0													
16 QAM	-76.5	-76.5													
32 QAM	-73.0	-73.0													
64 QAM	-70.0	-70.0													
128 QAM	-67.5	-67.0													
256 QAM	-64.5	-64.5													
512 QAM	-62.0	-61.5													
1024 QAM Strong	-58.5	-58.5													
1024 QAM Light	-58.0	-58.0													



31- DATASHEET DE LAS ANTENAS

A continuación se adjuntan los datasheets y diagramas de radiación de las antenas de RFS empleadas en la presente propuesta técnica:

- SC2-250AIPN
- SB1-250AIPN
- SC3-190AIPN
- SC2-190BIPN
- SB4-W60DIPN

CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 2 ft

Product Description

RFS CompactLine® and CompactLine® Easy Antennas are designed for short-haul microwave systems in all common frequency ranges from 6 GHz to 86 GHz. They are typically deployed in dense urban areas, metropolitan and suburban locations, aggregation points. They are especially optimized to integrated radios to reduce costs, installation complexity and time.

Features/Benefits

- Sizes ranging from 0.3 m (1 ft) to 1.8 m (6 ft)
- Frequencies ranging from 5.925 GHz to 86 GHz with support for four wideband frequency ranges (5.925-7.125, 7.125-8.5, 10.0-11.7, and 71.0-86.0 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics
- Single (SB and SC) and dual-polarized (SBX and SCX) models with the ability to upgrade from single to dual polarization and change frequencies in the field
- Low-profile design to reduce transportation requirements, wind load and antenna weight
- Simplified mounting design to accelerate installation
- CompactLine EASY models are extra light and easy to transport, deploy and upgrade
- Hardcover radomes
- Tested and validated ultra-high (ETSI EN 302 217-4-2 Class 3, FCC Class A) electrical performance
- Support for winds up to 250 km/h (155 mph) and even 320 km/h (195 mph) for SB1/SBX1
- An optional sway bar for antennas 1 m (3 ft) and larger is available



Antenna

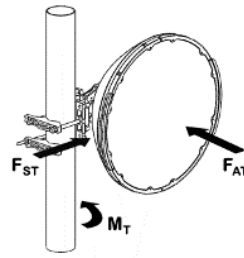
Technical Features

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	24.25 - 26.5
Diameter, ft (m)	2 (0.6)
Profile	CompactLineEasy
Reflector	1-part
Swaybar	0: (not applicable)
optional Swaybar	0: (not applicable)
Performance	Ultra High
Polarization	Single
Regulatory Compliance	ETSI EN 302217 Range 4 Class 3 , FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.4
Antenna Input	PBR 220
Low Band Gain, dBi	41.7
Mid Band Gain, dBi	42.3
High Band Gain, dBi	42.5
F/B Ratio, dB	68
XPD, dB	30
Max VSWR / R L, dB	1.29 (18)
Elevation Adjustment, degrees	± 20
Azimuth Adjustment, degrees	± 15
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Rigid
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	48 (1.9)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	9 (20)
Survival Windspeed, km/h (mph)	252 (155)
Operational Windspeed, km/h (mph)	180 (112)

CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 2 ft

All values @ Survival Wind Speed

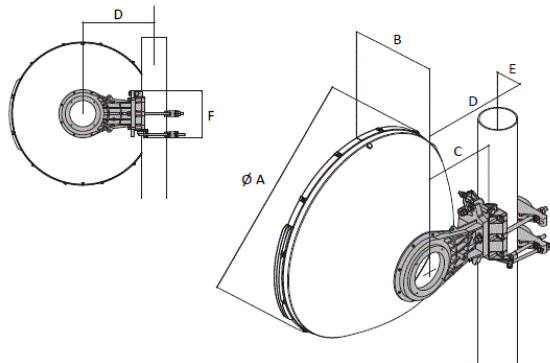
F_{ST} Side force max, N (lb)	613 (138)
F_{AT} Fa Axial force max, N (lb)	1238 (276)
M Torque max., Nm (lb*ft)	420 (94)



Dimensions

mm (in)

ØA	670 (26.4)
B	296 (11.7)
C	238 (9.4)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	326 (12.8)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	313.5 (12.3)
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	293 (11.5)
E	49 (1.9)
F	212 (8.3)
G	not applicable
H	not applicable



Notes

no notes

Documentation

Reflector Installation
Feed Installation

RPE (IQ-Link format)
RPE (Pathloss format)
RPE (PDF format)

Radiation Pattern Envelope

SC 2 - 250B

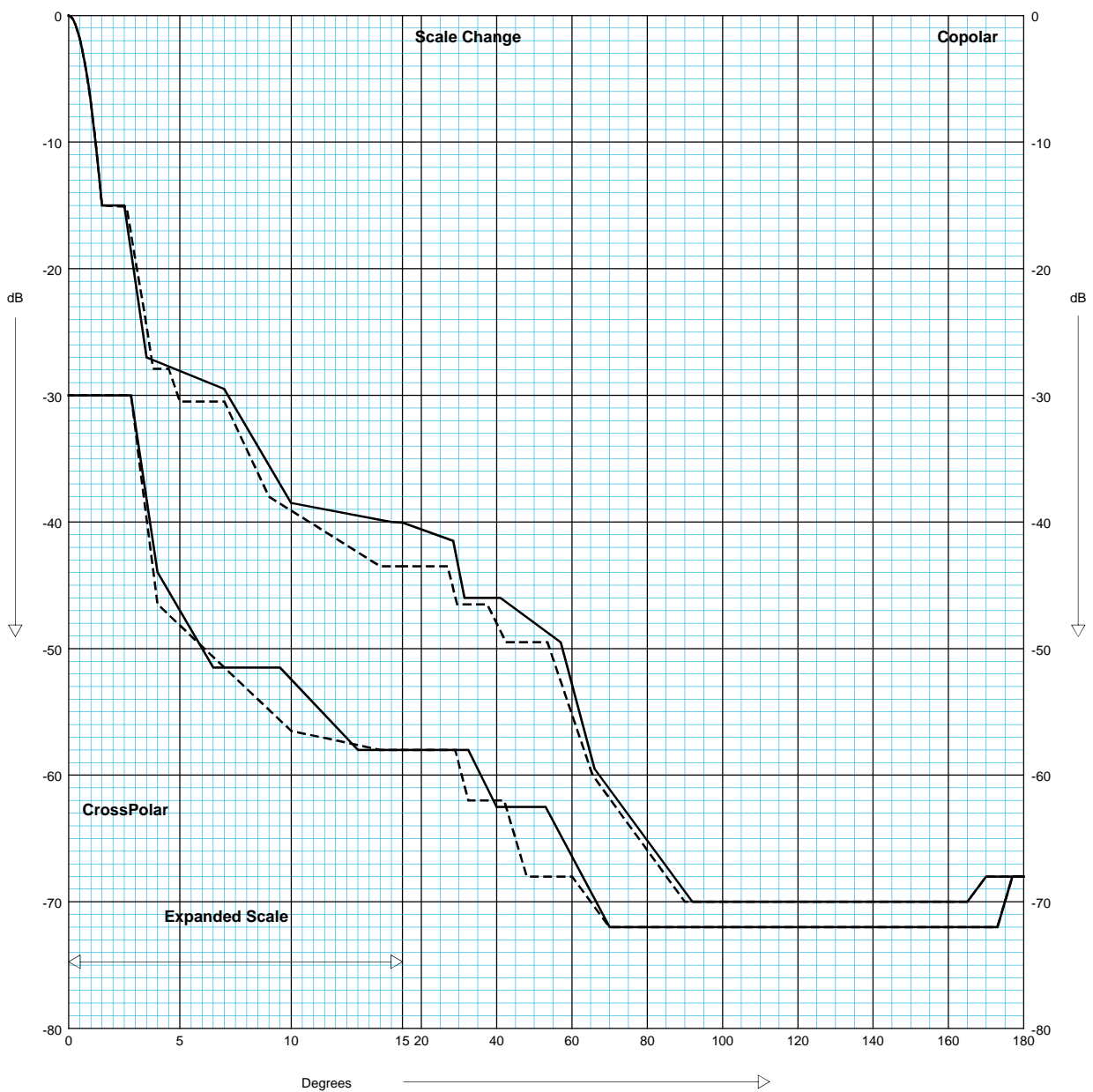
(Azimuth Diagram.)

101207a

Nominal Diameter 0.6 m
2.0 ft
Frequency Range 24.25 - 26.5 GHz
Gain 42.3 dBi at 25.38 GHz
HPBW 1.4 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
HV ————
VH - - - - - Vertically polarized antenna
VV - - - - -

Engineering Approval 2012-03-01



CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 1 ft

Product Description

RFS CompactLine® and CompactLine® Easy Antennas are designed for short-haul microwave systems in all common frequency ranges from 6 GHz to 86 GHz. They are typically deployed in dense urban areas, metropolitan and suburban locations, aggregation points. They are especially optimized to integrated radios to reduce costs, installation complexity and time.

Features/Benefits

- Sizes ranging from 0.3 m (1 ft) to 1.8 m (6 ft)
- Frequencies ranging from 5.925 GHz to 86 GHz with support for four wideband frequency ranges (5.925-7.125, 7.125-8.5, 10.0-11.7, and 71.0-86.0 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics
- Single (SB and SC) and dual-polarized (SBX and SCX) models with the ability to upgrade from single to dual polarization and change frequencies in the field
- Low-profile design to reduce transportation requirements, wind load and antenna weight
- Simplified mounting design to accelerate installation
- CompactLine EASY models are extra light and easy to transport, deploy and upgrade
- Hardcover radomes
- Tested and validated ultra-high (ETSI EN 302 217-4-2 Class 3, FCC Class A) electrical performance
- Support for winds up to 250 km/h (155 mph) and even 320 km/h (195 mph) for SB1/SBX1
- An optional sway bar for antennas 1 m (3 ft) and larger is available



Antenna

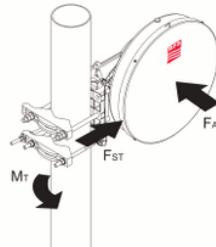
Technical Features

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	24.25 - 26.5
Diameter, ft (m)	1 (0.3)
Profile	CompactLine
Reflector	1-part
Swaybar	0: (not applicable)
optional Swaybar	0: (not applicable)
Performance	Ultra High
Polarization	Single
Regulatory Compliance	ETSI EN 302217 Range 4 Class 3 , FCC B
3dB beamwidth, (degrees)	2.4
Antenna Input	PBR 220
Low Band Gain, dBi	36.3
Mid Band Gain, dBi	36.6
High Band Gain, dBi	37
F/B Ratio, dB	62
XPD, dB	30
Max VSWR / R L, dB	1.3 (17.7)
Elevation Adjustment, degrees	± 20
Azimuth Adjustment, degrees	± 15
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Rigid
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	48 (1.9)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	6 (13)
Survival Windspeed, km/h (mph)	320 (198)
Operational Windspeed, km/h (mph)	252 (156)

CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 1 ft

All values @ Survival Wind Speed

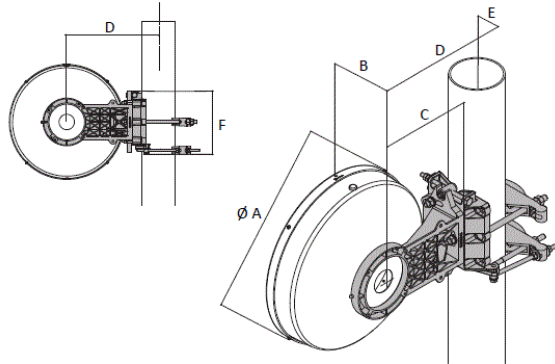
F_{ST} Side force max, N (lb)	354 (80)
F_{AT} Fa Axial force max, N (lb)	715 (161)
M Torque max., Nm (lb*ft)	230 (52)



Dimensions

mm (in)

ØA	388 (15.3)
B	170 (6.7)
C	220 (8.7)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	308 (12.1)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	295 (11.6)
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	275 (10.8)
E	50 (2)
F	212 (8.3)
G	not applicable
H	not applicable



Notes

no notes

Documentation

[Complete Antenna Installation](#)
[Feed installation](#)

[RPE \(IQ-Link format\)](#)
[RPE \(Pathloss format\)](#)
[RPE \(PDF format\)](#)

Radiation Pattern Envelope

SB 1 - 250C

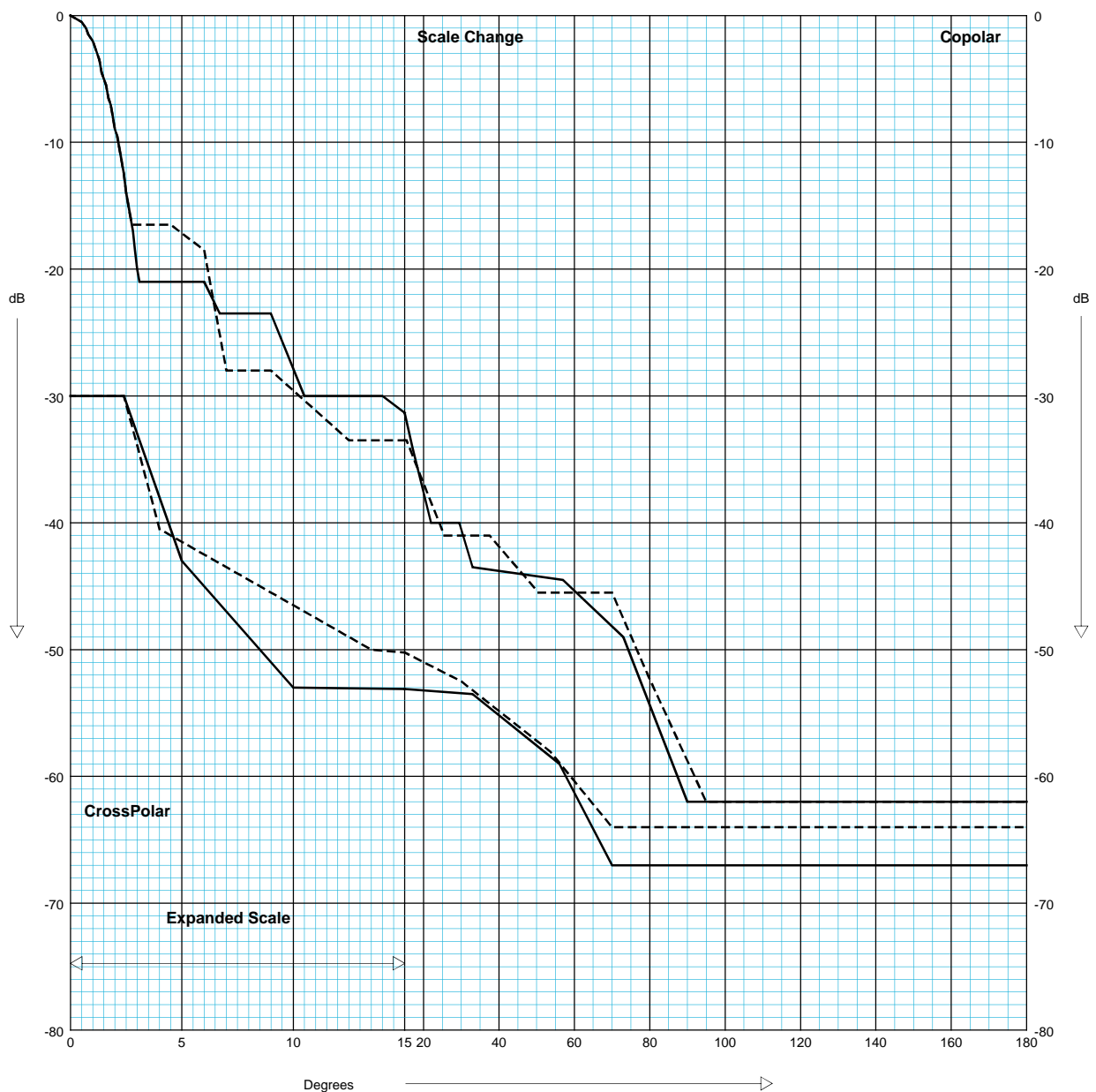
(Azimuth Diagram.)

130505

Nominal Diameter 0.3 m
1.0 ft
Frequency Range 24.25 - 26.5 GHz
Gain 36.6 dBi at 25.38 GHz
HPBW 2.4 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
HV ————
VH - - - - - Vertically polarized antenna
VV - - - - -

Engineering Approval 2012-03-01



CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 3 ft

Product Description

RFS CompactLine® and CompactLine® Easy Antennas are designed for short-haul microwave systems in all common frequency ranges from 6 GHz to 86 GHz. They are typically deployed in dense urban areas, metropolitan and suburban locations, aggregation points. They are especially optimized to integrated radios to reduce costs, installation complexity and time.

Features/Benefits

- Sizes ranging from 0.3 m (1 ft) to 1.8 m (6 ft)
- Frequencies ranging from 5.925 GHz to 86 GHz with support for four wideband frequency ranges (5.925-7.125, 7.125-8.5, 10.0-11.7, and 71.0-86.0 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics
- Single (SB and SC) and dual-polarized (SBX and SCX) models with the ability to upgrade from single to dual polarization and change frequencies in the field
- Low-profile design to reduce transportation requirements, wind load and antenna weight
- Simplified mounting design to accelerate installation
- CompactLine EASY models are extra light and easy to transport, deploy and upgrade
- Hardcover radomes
- Tested and validated ultra-high (ETSI EN 302 217-4-2 Class 3, FCC Class A) electrical performance
- Support for winds up to 250 km/h (155 mph) and even 320 km/h (195 mph) for SB1/SBX1
- An optional sway bar for antennas 1 m (3 ft) and larger is available



Antenna

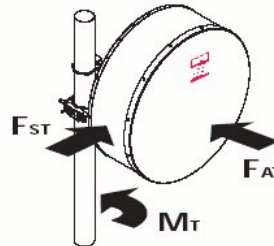
Technical Features

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	17.7 - 19.7
Diameter, ft (m)	3 (0.9)
Profile	CompactLineEasy
Reflector	1-part
Swaybar	0: (not applicable)
optional Swaybar	1: SMA-SK-3 (1.00 m x Ø33 mm)
Performance	Ultra High
Polarization	Single
Regulatory Compliance	ETSI EN 302217 Range 2 Class 3, FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.1
Antenna Input	PBR 220
Low Band Gain, dBi	42.8
Mid Band Gain, dBi	43.3
High Band Gain, dBi	43.8
F/B Ratio, dB	71
XPD, dB	30
Max VSWR / R L, dB	1.38 (16)
Elevation Adjustment, degrees	± 15
Azimuth Adjustment, degrees	± 15
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	rigid
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	89 (3.5)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	18 (40)
Survival Windspeed, km/h (mph)	252 (155)
Operational Windspeed, km/h (mph)	164 (102)
Further Accessories	SMA-SKO-UNIVERSAL : Universal sway bar fixation kit

CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 3 ft

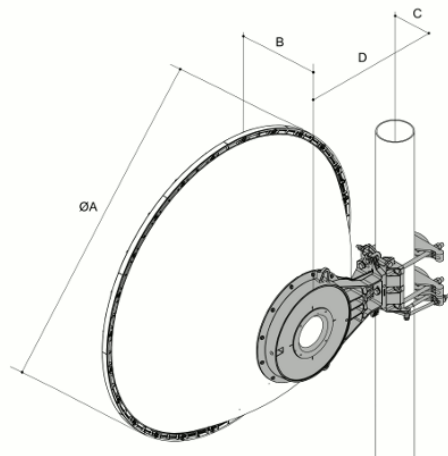
All values @ Survival Wind Speed

F_{ST} Side force max, N (lb)	1451 (326)
F_{AT} Fa Axial force max, N (lb)	2930 (659)
M Torque max., Nm (lb*ft)	1213 (895)



Dimensions mm (in)

ØA	999 (39.5)
B	375 (15)
C	56 (2.2)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	392 (15.5)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	379.5 (14.9)
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	not applicable
E	79 (3)
F	182 (7)
G	not applicable
H	not applicable



Notes

no notes

Documentation

Reflector Installation	RPE (Pathloss format)
Feed Installation	RPE (PDF format)

Radiation Pattern Envelope

SC 3 - 190 A

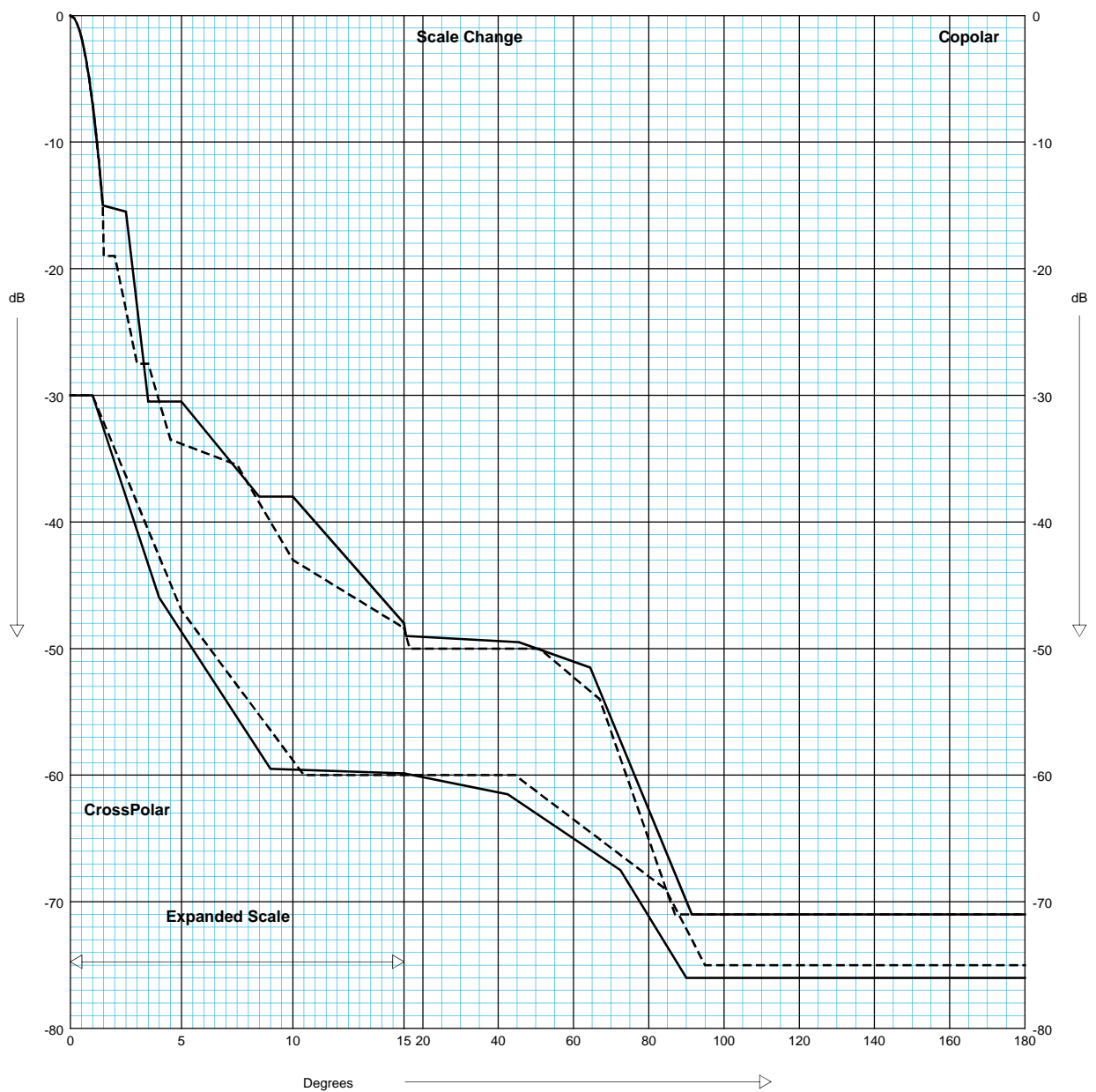
(Azimuth Diagram.)

121004

Nominal Diameter 0.9 m
3.0 ft
Frequency Range 17.7 - 19.7 GHz
Gain 43.3 dBi at 18.7 GHz
HPBW 1.1 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
HV ————
VH - - - - - Vertically polarized antenna
VV - - - - -

Engineering Approval 2012-11-02



CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 2 ft

Product Description

RFS CompactLine® and CompactLine® Easy Antennas are designed for short-haul microwave systems in all common frequency ranges from 6 GHz to 86 GHz. They are typically deployed in dense urban areas, metropolitan and suburban locations, aggregation points. They are especially optimized to integrated radios to reduce costs, installation complexity and time.

Features/Benefits

- Sizes ranging from 0.3 m (1 ft) to 1.8 m (6 ft)
- Frequencies ranging from 5.925 GHz to 86 GHz with support for four wideband frequency ranges (5.925-7.125, 7.125-8.5, 10.0-11.7, and 71.0-86.0 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics
- Single (SB and SC) and dual-polarized (SBX and SCX) models with the ability to upgrade from single to dual polarization and change frequencies in the field
- Low-profile design to reduce transportation requirements, wind load and antenna weight
- Simplified mounting design to accelerate installation
- CompactLine EASY models are extra light and easy to transport, deploy and upgrade
- Hardcover radomes
- Tested and validated ultra-high (ETSI EN 302 217-4-2 Class 3, FCC Class A) electrical performance
- Support for winds up to 250 km/h (155 mph) and even 320 km/h (195 mph) for SB1/SBX1
- An optional sway bar for antennas 1 m (3 ft) and larger is available



Antenna

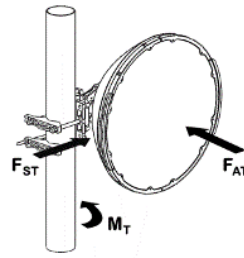
Technical Features

Product Type	Point to point antennas
Frequency, GHz	17.7 - 19.7
Diameter, ft (m)	2 (0.6)
Profile	CompactLineEasy
Reflector	1-part
Swaybar	0: (not applicable)
optional Swaybar	0: (not applicable)
Performance	Ultra High
Polarization	Single
Regulatory Compliance	ETSI EN 302217 Range 2 Class 3 , FCC Category A
3dB beamwidth, (degrees)	1.8
Antenna Input	PBR 220
Low Band Gain, dBi	38.5
Mid Band Gain, dBi	39
High Band Gain, dBi	39.5
F/B Ratio, dB	68
XPD, dB	30
Max VSWR / R L, dB	1.38 (16)
Elevation Adjustment, degrees	± 20
Azimuth Adjustment, degrees	± 15
Polarization Adjustment, degrees	± 5
Radome	Rigid
Antenna color	White RAL 9010
Mounting Pipe Diameter minimum, mm (in)	48 (1.9)
Mounting Pipe Diameter maximum, mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight, kg (lb)	9 (20)
Survival Windspeed, km/h (mph)	252 (155)
Operational Windspeed, km/h (mph)	180 (112)

CompactLine Easy Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 2 ft

All values @ Survival Wind Speed

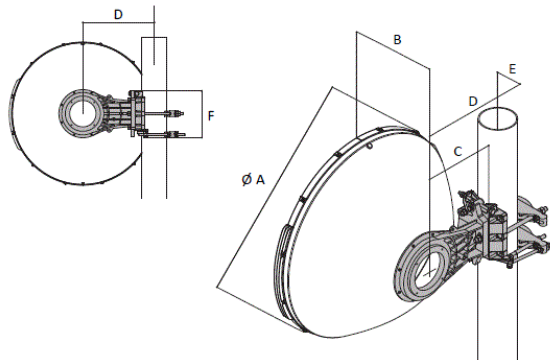
F_{ST} Side force max, N (lb)	613 (138)
F_{AT} Fa Axial force max, N (lb)	1238 (276)
M Torque max., Nm (lb*ft)	420 (94)



Dimensions

mm (in)

ØA	670 (26.4)
B	296 (11.7)
C	238 (9.4)
D @ Mounting pipe Ø 219 (8.5):	not applicable
D @ Mounting pipe Ø 114 (4.5):	326 (12.8)
D @ Mounting pipe Ø 89 (3.5):	313.5 (12.3)
D @ Mounting pipe Ø 48 (1.9):	293 (11.5)
E	49 (1.9)
F	212 (8.3)
G	not applicable
H	not applicable



Notes

no notes

Documentation

Reflector Installation
Feed Installation

RPE (IQ-Link format)
RPE (Pathloss format)
RPE (PDF format)

Radiation Pattern Envelope

SC 2 - 190B

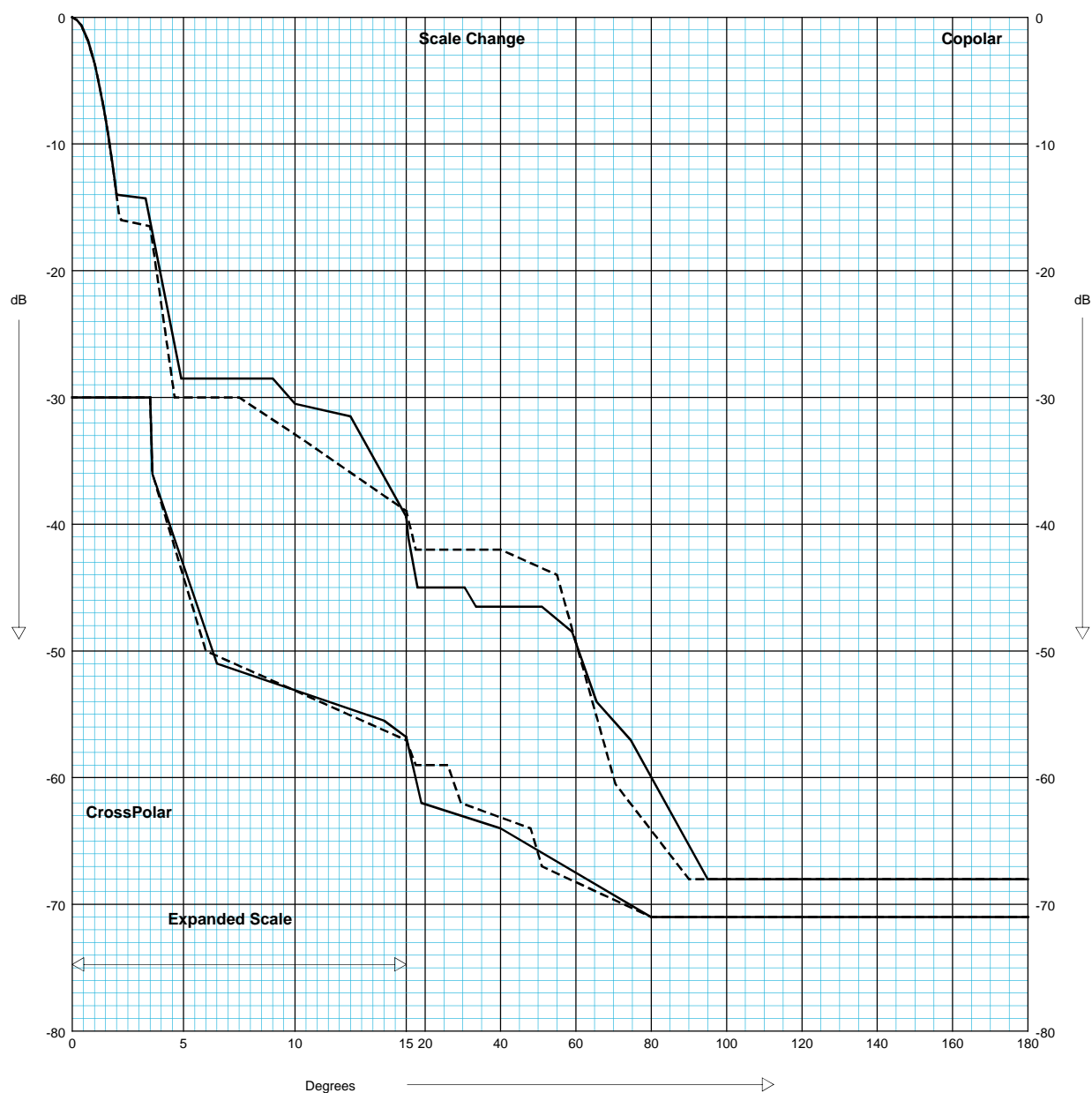
(Azimuth Diagram.)

100720a

Nominal Diameter 0.6 m
2.0 ft
Frequency Range 17.7 - 19.7 GHz
Gain 39.0 dBi at 18.7 GHz
HPBW 1.8 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
HV ————
VH - - - - - Vertically polarized antenna
VV - - - - -

Engineering Approval 2012-03-01



CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft

RFS CompactLine® and CompactLine® Easy Antennas are designed for short-haul microwave systems in all common frequency ranges from 6 GHz to 86 GHz. They are typically deployed in dense urban areas, metropolitan and suburban locations, aggregation points. They are especially optimized to integrated radios to reduce costs, installation complexity and time.

FEATURES / BENEFITS

- ➔ Sizes ranging from 0.3 m (1 ft) to 1.8 m (6 ft)
- ➔ Frequencies ranging from 5.925 GHz to 86 GHz with support for four wideband frequency ranges (5.925-7.125, 7.125-8.5, 10.0-11.7, and 71.0-86.0 GHz) to reduce antenna requirements and simplify logistics
- ➔ Single (SB and SC) and dual-polarized (SBX and SCX) models with the ability to upgrade from single to dual polarization and change frequencies in the field
- ➔ Low-profile design to reduce transportation requirements, wind load and antenna weight
- ➔ Simplified mounting design to accelerate installation
- ➔ CompactLine EASY models are extra light and easy to transport, deploy and upgrade
- ➔ Hardcover radomes
- ➔ Tested and validated ultra-high (ETSI EN 302 217-4-2 Class 3, FCC Class A) electrical performance
- ➔ Support for winds up to 250 km/h (155 mph) and even 320 km/h (195 mph) for SB1/SBX1
- ➔ An optional sway bar for antennas 1 m (3 ft) and larger is available



Antenna

Technical Features

GENERAL SPECIFICATIONS

Product Type		Point to point antennas
Profile		CompactLine
Performance		Ultra High
Polarization		Single
Antenna Input		CPR137G
Reflector		1-part
Radome		rigid
Antenna color		White RAL 9010
Swaybar		1: (1.35 m x Ø27 mm)

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency	GHz	5.725 - 7.125
3dB beamwidth	degrees	2.8
Gain		35 @ 5.725 GHz, 35.2 @ 5.925 GHz, 35.7 @ 6.525 GHz, 36.6 @ 7.125 GHz
F/B Ratio	dB	61 @ 5.925-7.125 GHz, 56 @ 5.725-6.875 GHz
XPD	dB	30
Max VSWR / R L	VSWR / dB	1.3 (17.7)
Regulatory Compliance		ETSI EN 302217 Range 1 Class 3 @ 5.925-7.125 GHz ETSI EN 302217 Range 1 Class 2 @ 5.725-6.875 GHz FCC Category B2

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Diameter	ft (m)	4 (1.2)
Elevation Adjustment	degrees	± 15
Azimuth Adjustment	degrees	± 15
Polarization Adjustment	degrees	± 5
Mounting Pipe Diameter minimum	mm (in)	114 (4.5)
Mounting Pipe Diameter maximum	mm (in)	114 (4.5)
Approximate Weight	kg (lb)	30 (66)
Survival Windspeed	km/h (mph)	200 (125)
Operational Windspeed	km/h (mph)	200 (125)

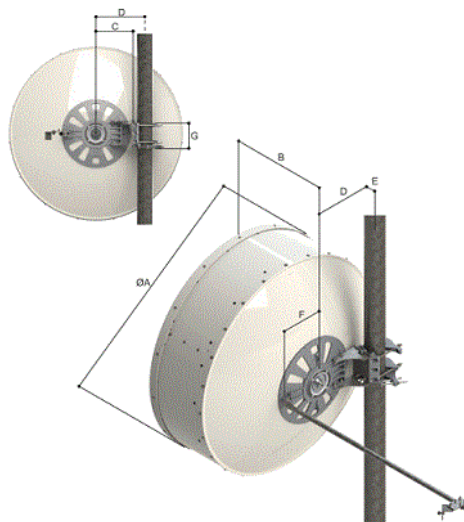
FURTHER ACCESSORIES

optional Swaybar		1: SMA-SK-4 (1.35 m x Ø33 mm)
Further Accessories		SMA-SKO-UNIVERSAL : Universal sway bar fixation kit

CompactLine Antenna, Ultra High Performance, Single Polarized, 4 ft

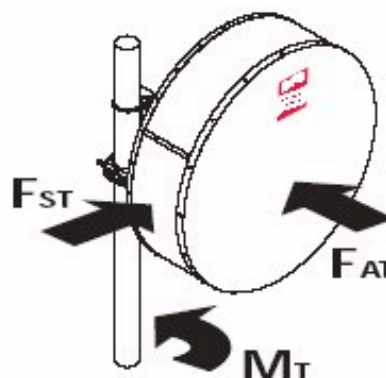
Mount Outline

Dimension A	mm (in)	1262 (49.7)
Dimension B	mm (in)	608 (23.9)
Dimension C	mm (in)	270 (10.6)
Dimension D for 219mm (8.5in) Pipe	mm (in)	not applicable
Dimension D for 114mm (4.5in) Pipe	mm (in)	358 (14.1)
Dimension D for 89mm (3.5in) Pipe	mm (in)	not applicable
Dimension D for 51mm (2.0in) Pipe	mm (in)	not applicable
Dimension E	mm (in)	59 (2.3)
Dimension F	mm (in)	230 (9.1)
Dimension G	mm (in)	186 (7.3)
Dimension H	mm (in)	not applicable



Wind Load

FST Side force max. @ survival wind speed	N (lb)	1360 (306)
FAT Axial force max. @ survival wind speed	N (lb)	3290 (740)
MT Torque maximum @ survival wind speed	Nm (lb ft)	1055 (784)



External Document Links

[Reflector Installation](#)
[Feed Installation](#)
[Mount Installation](#)
[RPE \(IQ-Link format\)](#)
[RPE \(PDF format\)](#)
[RPE \(Pathloss format\)](#)
[RPE \(IQ-link format\) 5.725-6.875GHz](#)
[RPE \(Pathloss format\) 5.725-6.875GHz](#)
[RPE \(PDF format\) 5.725-6.875GHz](#)

Notes

Radiation Pattern Envelope

SB 4 - W60D

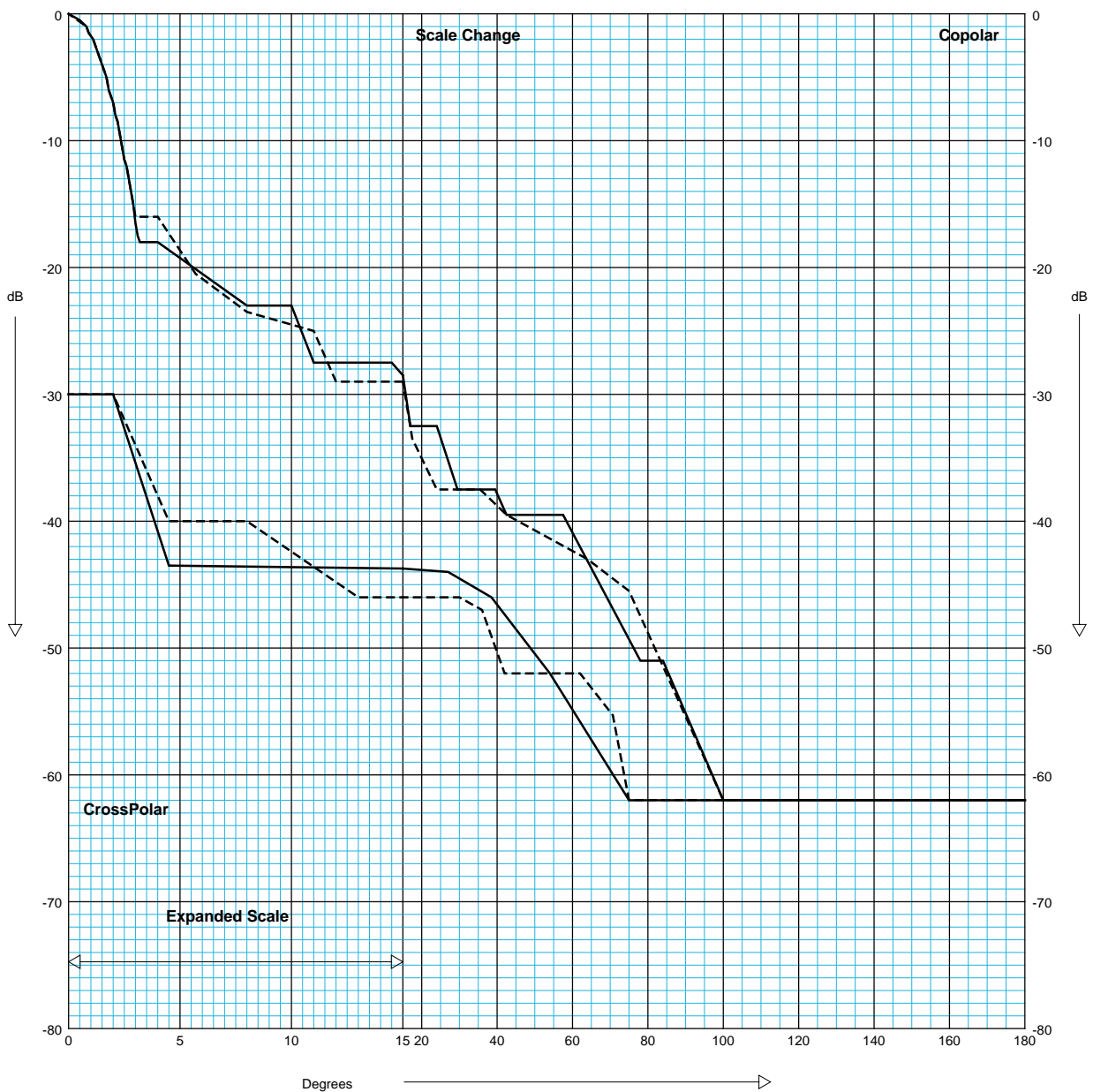
(Azimuth Diagram.)

140601

Nominal Diameter 1.2 m
4.0 ft
Frequency Range 5.925 - 7.125 GHz
Gain 35.7 dBi at 6.52 GHz
HPBW 2.6 deg

HH ———— Horizontally polarized antenna
HV ————
VH - - - - - Vertically polarized antenna
VV - - - - -

Engineering Approval 2016-06-10



32- DOCUMENTOS PARA LA LEGALIZACIÓN

A continuación se adjuntan los documentos necesarios para la tramitación de la solicitud de adquisición del derecho de uso de los canales pertinentes y para la instalación de estaciones radioeléctricas:

- Tabla formulario de propuesta técnica para el Servicio Fijo.
- Solicitud de título habilitante y propuesta técnica para uso del dominio público radioeléctrica (Servicio Fijo y radiolocalización).
- Resolución de la Secretaría del Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información por la que se otorga la concesión demanial para uso privativo del dominio público radioeléctrico, de referencia a favor.
- Solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas.
- Certificación de instalación de estaciones radioeléctricas.
- Certificación de niveles de exposición radioeléctrica de estaciones de radiocomunicaciones.

PROPUESTA TÉCNICA PARA EL SERVICIO FIJO

- ☐ **NUEVA INSTALACIÓN**
- ☐ **AMPLIACIÓN**
- ☐ **MODIFICACIÓN**

Entidad solicitante: Código expediente Centro Emisor Autorizado¹:

Identificador Enlace	Nombre estación	Dirección	Municipio Provincia	Longitud Latitud	Cota (m) Alt. antena s/ suelo (m)	Potencia Tx (dBm)	Marca y modelo antena	Diámetro (m) Ganancia (dBi) Apertura haz (°)	Long. vano (km)	Azimut (°) Elevación (°)	Den. Emisión Modulación Capacidad (Mbps)	Umbral (*) (dBm) C/I cocanal (**) (dB) C/I adyacente (**) (dB)	Frec. Tx (MHz) Polarización

1 La tramitación de solicitudes de transporte de programas queda condicionada a la autorización previa del centro emisor correspondiente, debiendo indicarse la referencia de dicho expediente.

(*) Para una BER = 10⁻⁶

(**) Para una degradación del umbral de 1 dB



Código REF.
(A rellenar por la Administración)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Código de Actividad
(A rellenar por la Administración)

--	--	--	--

SOLICITUD DE TÍTULO HABILITANTE Y PROPUESTA TÉCNICA PARA USO DEL DOMINIO PÚBLICO RADIOELÉCTRICO (SERVICIO FIJO Y RADIOLOCALIZACIÓN) ¹

1. Datos identificativos de la persona, física o jurídica, para quien se solicita el título habilitante.

Nombre / denominación social:N.I.F. / C.I.F.:
 domicilio a efectos de notificaciones en: calle:nº: planta:
 Puerta: provincia: C.P.: nacionalidad:

2. Datos identificativos del representante (*):

Nombre (**): N.I.F.:
 con domicilio en: calle: nº: planta:
 puerta: provincia: C.P.: nacionalidad:
 nº de teléfono: correo electrónico:

(*) Quienes firmen la solicitud en nombre de otro deberán aportar documentación que acredite su capacidad legal de representación.

(**) Doy mi consentimiento para que mis datos de Identidad Personal puedan ser consultados mediante el Sistema de Verificación de Datos de Identidad Personal, a los efectos de iniciación de este procedimiento, de conformidad con lo establecido en la Orden PRE/3949/2006, de 26 de diciembre. **SÍ** ☒ **NO** ☐, aportando en caso negativo fotocopia autenticada del DNI o tarjeta de identidad equivalente.

3. Modalidad de título habilitante que se solicita:

Autorización ☐

Concesión ☐

Afectación ☐

(La autoprestación de servicios por el titular de los derechos de uso del dominio público radioeléctrico requerirá una autorización, salvo en el caso de Administraciones Públicas que requerirá una afectación. Los derechos de uso destinados a redes públicas (prestación de servicios a terceros) se otorgarán por concesión y el titular deberá ostentar la condición de operador).

4. Condiciones impuestas al titular del título habilitante:

El titular de los derechos de uso asume formalmente el cumplimiento de las condiciones establecidas en la Ley General de Telecomunicaciones y su normativa de desarrollo que le sea de aplicación. Asimismo, tratándose de extranjeros, declara su sometimiento a la jurisdicción de los Juzgados y Tribunales españoles de cualquier orden para todas las incidencias que de modo directo o indirecto, pudieran surgir del título concedido, con renuncia, en su caso, al fuero jurisdiccional extranjero que pudiera corresponderle, asimismo, deberá designar una persona responsable, a efectos de notificaciones, domiciliada en España.

En a dede 2.....

(firma del representante y sello de la entidad)

SR. SECRETARIO DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

¹ Los datos contenidos en esta solicitud podrán ser incorporados a un fichero automatizado destinado al registro y tratamiento de los datos administrativos y técnicos relativos al Registro Nacional de Frecuencias y, en su caso, al Registro Público de Concesionarios y al Registro de Liquidación de Tasas y serán utilizados en la forma y con las limitaciones y derechos que recoge la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. Si desea acceder, rectificar o anular, en su caso, sus datos, puede comunicarlo a: **Subdirección General de Planificación y Gestión del Espectro Radioeléctrico**. c/ Capitán Haya, 41 28071-Madrid – Fax: 91 346 22 29



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES
Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

**RESOLUCIÓN DE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES Y PARA LA
SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN POR LA QUE SE OTORGA LA CONCESIÓN DEMANIAL PARA
USO PRIVATIVO DEL DOMINIO PÚBLICO RADIOELÉCTRICO, DE REFERENCIA
A FAVOR DE**

Vista la solicitud presentada por _____ con CIF/NIF nº _____
vistos asimismo la Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones, el Real Decreto
1620/2005, de 30 de diciembre, por el que se regulan las tasas, el Real Decreto 863/2008, de 23 de
mayo, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley 32/2003 General de
Telecomunicaciones en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico, el vigente Cuadro
Nacional de Atribución de Frecuencias, el Reglamento de Radiocomunicaciones anexo al Convenio
Internacional de Telecomunicaciones, y demás disposiciones de aplicación, y teniendo en cuenta que
se ha presentado la documentación pertinente y que se cumplen las condiciones exigibles para el
otorgamiento de lo solicitado, esta Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de
la Información,

RESUELVE:

Primero.- Otorgar a favor de _____
de uso privativo del dominio público radioeléctrico sin limitación de número para prestación de
servicios a terceros, concretamente para la actividad de AUDIO, VIDEO Y DATOS.

Esta concesión, se entiende otorgada conforme a lo establecido en el artículo 62 de la Ley 9/2014, de
9 de mayo, General de Telecomunicaciones y el Real Decreto 863/2008, de 23 de mayo, por la que se
aprueba el Reglamento de Desarrollo de la Ley 32/2003, de 3 de noviembre, General de
Telecomunicaciones en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico.

Segundo.- Según lo dispuesto por el artículo 64, apartado 1 de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, General
de Telecomunicaciones, la presente CONCESIÓN se entiende otorgada por un periodo inicial desde la
fecha de la presente resolución hasta el 31 de diciembre del año 2021 en que cumple su quinto año
de vigencia, el cual podrá ser prorrogado por periodos sucesivos de 5 años de encontrarse sus
características técnicas acordes al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

Las prórrogas deberán ser solicitadas, al menos, con tres meses de antelación a la finalización,
debiendo entenderse que, si al finalizar cada periodo de vigencia del presente título habilitante, la
Administración no ha contestado, la solicitud de renovación debe considerarse desestimada.

Tercero.- En aplicación de lo dispuesto en el artículo 16 del Real Decreto 1620/2005, de 30 de
diciembre, en el que se regula la tasa por reserva del dominio público radioeléctrico establecida en el
apartado 3 del Anexo I de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones, el número
de unidades de reserva radioeléctrica de la red objeto de la presente concesión es, para el código de

Solicitud de autorización para la puesta en servicio de estaciones radioeléctricas

D./D^a _____, con NIF/NIE _____,
en nombre y representación de _____,
con NIF _____, y domicilio en _____,
con código postal _____ y con correo electrónico para envío de avisos de notificación _____.

EXPONE

1. Que desea poner en servicio:

- ☐ Estación de telefonía móvil o acceso inalámbrico fijo.
- ☐ Estación de radiodifusión sonora o de televisión.
- ☐ Estación de radioafición con distintivo de llamada _____.
- ☐ Otro tipo de estaciones radioeléctricas.

2. Que actúa en calidad de:

- ☐ Titular/cesionario de derecho de uso privativo del dominio público radioeléctrico, cuyo expediente administrativo tiene referencia _____.
- ☐ Titular de una autorización individual para el uso especial del dominio público radioeléctrico¹, cuyo expediente administrativo tiene referencia _____.
- ☐ Operador de comunicaciones electrónicas², autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.
- ☐ Gestor del múltiple digital³, autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.
- ☐ Promotor de extensión de cobertura de televisión digital terrestre³ (TDT), autorizado por los titulares del derecho de uso del dominio público radioeléctrico con expedientes administrativos _____.

3. Que los propietarios de las instalaciones⁴ o, en su caso, los titulares de uso de las instalaciones son _____, con NIF _____.

4. Que el operador de comunicaciones electrónicas⁵ que realiza las emisiones es _____, con NIF _____.

¹ Radioaficionado.

² En el caso de que un operador actúe como representante del titular/cesionario, debe firmar con un certificado de persona física con representación de la persona jurídica (titular), o bien con un certificado de persona física, en cuyo caso deberá adjuntar a la solicitud un poder notarial firmado o compulsado electrónicamente, o una autorización firmada electrónicamente por el representante legal del titular.

³ Indíquese únicamente para estaciones de televisión en caso de que se actúe en calidad de gestor del múltiple digital o de promotor de extensión de cobertura de TDT.

⁴ Identifíquese el propietario o propietarios de las instalaciones (transmisores, sistemas radiantes, torre o soportes de antenas, emplazamiento, ...) en caso de que este no fuera el titular de los derechos de uso del dominio público radioeléctrico.

⁵ Identifíquese al operador que efectúa las emisiones radioeléctricas en caso de que este no fuera el titular de los derechos de uso del dominio público radioeléctrico.

5. Que previamente ha obtenido la autorización de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para realizar las instalaciones, cuyo expediente administrativo tiene referencia [REDACTED], y que se han ejecutado las instalaciones de acuerdo con los parámetros y características técnicas autorizados por dicha Secretaría de Estado.
6. Que las instalaciones cumplen con las medidas de seguridad establecidas en la normativa vigente y han sido ejecutadas por:
- ☐ Una empresa instaladora de telecomunicaciones, inscrita en el *Registro de Empresas Instaladoras de Telecomunicación* de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para la instalación de estaciones de radiocomunicaciones (tipo D).
 - ☐ El radioaficionado, previamente autorizado por el Jefe Provincial de Inspección de Telecomunicaciones para efectuar dicha instalación.
7. Que, con esta solicitud, se adjunta:
- ☐ Boletín de instalación⁶ y la documentación que lo acompaña, cumplimentado y firmado por la empresa instaladora de telecomunicaciones que ha realizado las instalaciones, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Características técnicas de la instalación⁷, cumplimentado y firmado por el radioaficionado que ha realizado la instalación.
 - ☐ Justificante que acredita el pago de la tasa de telecomunicaciones⁸, establecida en el apartado 4 del Anexo I de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, *General de Telecomunicaciones*, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Certificado de instalación⁹, sustitutivo del acto de reconocimiento técnico de las instalaciones, expedido por técnico competente en materia de telecomunicaciones, en conformidad con la Resolución de 4 de mayo de 2017, de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, *por la que se determinan los tipos de estaciones radioeléctricas para los que se requiere una certificación sustitutiva del acto de reconocimiento técnico previo a la autorización para la puesta en servicio*, para cada una de las estaciones objeto de esta solicitud.
 - ☐ Certificado de niveles de exposición radioeléctrica¹⁰, expedido por técnico competente en materia de telecomunicaciones, de que los niveles existentes, en zonas cercanas a cada una de las estaciones objeto de esta solicitud que lo requieran, cumplen los límites de exposición radioeléctrica

⁶ Inclúyase cuando el acto de reconocimiento técnico de la instalación deba ser efectuado por personal de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital.

⁷ Inclúyase solo si la instalación ha sido realizada por el propio radioaficionado previamente autorizado.

⁸ La tasa de telecomunicaciones no afecta a las estaciones de radioafición.

⁹ Inclúyase solo si la autorización para la puesta en servicio de las estaciones objeto de esta solicitud puede realizarse mediante la presentación de certificaciones de instalación, expedidas por técnico competente en materia de telecomunicaciones, conforme a la Resolución de 4 de mayo de 2017.

¹⁰ Inclúyase solo en el caso de que la autorización para la puesta en servicio de las estaciones objeto de esta solicitud pueda realizarse mediante la presentación de certificaciones de instalación, expedidas por técnico competente en materia de telecomunicaciones, conforme a la Resolución de 4 de mayo de 2017, y esta incluya estaciones que cumplan con las condiciones establecidas en el artículo 53.1 del *Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico*, aprobado por el Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero.

establecidos en el Anexo II del *Reglamento que establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas*, aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.

SOLICITA a la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital:

- ☐ La autorización para la puesta en servicio de las estaciones radioeléctricas indicadas en la documentación que se adjuntan a esta solicitud.
- ☐ La expedición de la correspondiente licencia de estación de radioafición¹¹.

En _____, a _____

[Fírmese la solicitud^{12y13}]

¹¹ Márquese también en el caso de estación de radioafición.

¹² La solicitud debe ser firmada por el titular/cesionario del derecho de uso del dominio público radioeléctrico, titular de una autorización individual para el uso especial del dominio público radioeléctrico, operador de comunicaciones electrónicas, gestor del múltiple digital TDT o promotor de extensión de cobertura de TDT, según corresponda.

Las personas obligadas a relacionarse electrónicamente con la Administración deben firmar la solicitud electrónicamente y presentarla a través de la sede electrónica del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

En el caso de que una persona actúe como representante del titular/cesionario, debe firmar con un certificado de persona física con representación de la persona jurídica, o bien con un certificado de persona física, en cuyo caso deberá adjuntar a la solicitud un poder notarial firmado o compulsado electrónicamente, o una autorización firmada electrónicamente por el representante legal del titular.

¹³ Los datos contenidos en esta solicitud podrán ser incorporados a un fichero automatizado destinado al registro y tratamiento de los datos administrativos y técnicos relativos al Registro Nacional de Frecuencias y, en su caso, al Registro Público de Concesionarios y al Registro de Liquidación de Tasas y serán utilizados en la forma y con las limitaciones y derechos que recoge la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de *Protección de Datos de Carácter Personal*. Si desea acceder, rectificar o anular, en su caso, sus datos, puede comunicarlo a la Subdirección General de Inspección de las Telecomunicaciones, dependiente de la Dirección General de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información.

Certificación de instalación de estaciones radioeléctricas

D./D^a _____, con NIF/NIE _____, y título académico de _____, expedido por la Universidad _____, y domicilio en _____, con código postal _____ y con correo electrónico para envío de avisos de notificación _____ y, en su caso, colegiado número _____, del Colegio Oficial de _____.

CERTIFICA

1. Que está habilitado profesional y legalmente para la firma de la certificación¹.
2. Que la empresa instaladora de telecomunicaciones _____, con NIF _____, con domicilio a efectos de notificación en _____, con código postal _____, e inscrita en el *Registro de Empresas Instaladoras de Telecomunicación* de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital para instalaciones de estaciones de radiocomunicaciones (tipo D) con número de registro _____, ha realizado la instalación correspondiente al expediente administrativo con referencia _____, que consta de un número total de _____ estaciones con p.i.r.e. máxima mayor a 1 W, de las cuales se han instalado estaciones nuevas y se han modificado _____ estaciones previamente instaladas.
3. Que ha revisado en fechas _____ la instalación de las estaciones que se pretenden poner en servicio.
4. Que los parámetros técnicos de las estaciones,
 - ☐ incorporados en un fichero XML adjunto a este certificado²,
 - ☐ descritos en el apartado "Principales características de las estaciones",se ajustan al proyecto técnico aprobado y a las condiciones previamente autorizadas por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital.
5. Que ha comprobado que todos los equipos instalados disponen del marcado de Conformidad Europea (CE) y de la declaración de conformidad del fabricante, en conformidad con el Real Decreto 188/2016, de 6 de mayo, *por el que se aprueba el Reglamento por el que se establecen los requisitos para la comercialización, puesta en servicio y uso de equipos radioeléctricos, y se regula el procedimiento para la evaluación de la conformidad, la vigilancia del mercado y el régimen sancionador de los equipos de*

¹ En caso de que la certificación venga visada por el correspondiente Colegio Oficial no es necesario incluir este punto.

² Márquese también en caso de estación de telefonía móvil, acceso inalámbrico fijo o radiodifusión.

telecomunicación o, en su caso, del Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.

6. Que la descripción fotográfica de los principales elementos, que se incluye a continuación, corresponde a las instalaciones certificadas.

En _____, a _____

[Firmese electrónicamente]

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES

TELEFONÍA MÓVIL, ACCESO INALÁMBRICO FIJO O RADIODIFUSIÓN

Descripción fotográfica asociada a la estación:

[Incorpórese una descripción fotográfica de los principales elementos de cada instalación y, en particular, los siguientes:

- **Estación en su conjunto** (vista global, incluyendo caseta, mástil soporte de antenas, y sistema radiante).
- **Antena utilizada** (una o más fotografías con el detalle de los elementos del sistema radiante objeto de la certificación).
- **Coordenadas geográficas de la estación** en el datum ETRS89 para Península Ibérica e Islas Baleares, y REGCAN95 para Canarias, en la que se visualice la estación **junto con la pantalla de geolocalización** que muestre unas coordenadas próximas a la antena o fotografía con impresión de coordenadas incorporada].

Descripción 1:		Descripción ... :	
Descripción ... :		Descripción ... :	
Descripción ... :		Descripción n :	

[Añadir tantas filas de imágenes como sean necesarias en la tabla precedente para completar la descripción fotográfica]

OTRO TIPO DE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS

[Incluya todas las estaciones que se hayan instalado o modificado]

[Cada estación de la red debe de comenzar en una página independiente]

ESTACIÓN Nº (1): (INICIO)

Identificación de la estación:

[Incorpórese información de los principales elementos de cada instalación y, en particular, los siguientes]

Nombre de estación (2):		
Longitud (3):	GG° L MM' SS" CC	Datum <i>ETRS89</i> para Península Ibérica e Islas Baleares, y <i>REGCAN95</i> para Canarias
Latitud (4):	GG° N MM' SS" CC	
Cota (m) (5):		
Fecha revisión instalación (6):		

Descripción fotográfica asociada a la estación:

[Incorpórese una descripción fotográfica de los principales elementos de cada instalación y, en particular, los siguientes]

- **Estación en su conjunto** (vista global, incluyendo caseta, mástil soporte de antenas, y sistema radiante).
- **Antena utilizada** (una o más fotografías con el detalle de los elementos del sistema radiante objeto de la certificación).
- **Coordenadas geográficas de la estación** en el datum ETRS89 para Península Ibérica e Islas Baleares, y REGCAN95 para Canarias, en la que se visualice la estación **junto con la pantalla de geolocalización** que muestre unas coordenadas próximas a la antena o fotografía con impresión de coordenadas incorporada.

Descripción 1:		Descripción ... :	
Descripción ... :		Descripción ... :	

Descripción ... :	Descripción n :

[Añadir tantas filas de imágenes como sean necesarias en la tabla precedente para completar la descripción fotográfica]

Enlace de transmisión de la estación:

[Rellene e incluya una de las siguientes opciones, en función del tipo de red al que pertenece la estación]

- **Estación radioeléctrica de una red por satélite**

ENLACE DE TRANSMISIÓN	Características (7)	Id. Transmisor			
		Frecuencia TX			
		Designación haz			
		Nombre satélite / Posición orbital			
	Potencia (8)	Potencia radiada máx.	Tipo		
		PCM	DPM		
	Antena (9)	Id. Antena			
		Altura antena (m)			
		Polarización			
	Enlace (10)	Denominación			
	Vano (11)	Longitud (m)			
		Acimut (°)			
Ángulo elevación (°)					

- **Estación radioeléctrica de cualquier tipo de red (exceptuando red por satélite)**

ENLACE DE TRANSMISIÓN	Características (7)	Id. Transmisor			
		Frecuencia TX			
	Potencia (8)	Potencia radiada máx.	Tipo		
	Antena (9)	Id. Antena			
		Altura antena (m)			
		Polarización			
	Enlace (10)	Denominación			
		Subtono	CCIR		
	Vano (11)	Long. (km)			
		Acimut (°)			
		Ángulo elevación (°)			

----- **ESTACIÓN Nº (12): (FIN)** -----

INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR

1. Número de la estación, otorgado por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, cuya descripción inicia.
2. Nombre de la estación otorgado por el titular de uso del dominio público radioeléctrico.
3. Longitud geográfica del emplazamiento de la estación, respecto al Meridiano de Greenwich, según el formato GG° L MM' SS"CC, siendo: GG = grados sexagesimales, L = punto cardinal (seleccione E para Este o W para Oeste), MM = minutos, SS = segundos y CC = centésimas de segundo.
4. Latitud geográfica del emplazamiento de la estación, respecto al Ecuador, según el formato GG° N MM' SS"CC, siendo: GG = grados, N = Norte, MM = minutos, SS = segundos y CC = centésimas de segundo.
5. Cota geográfica en metros del suelo sobre el nivel del mar.
6. Fecha en la que el técnico competente ha revisado la instalación.
7. Características del enlace de transmisión en el que participa la estación:
 - Id. Transmisor: Número de identificación del transmisor, según lo referido en el boletín de instalación de la estación.
 - Frecuencia TX: Valor de la frecuencia de enlace de transmisión y su unidad (MHz, GHz).
 - Designación haz: Designación del haz del satélite.
 - Nombre satélite / Posición orbital: Nombre del satélite hacia donde se encuentra dirigido el haz, y/o posición orbital en grados sexagesimales y punto cardinal (Este/Oeste) del satélite.
8. Potencia del enlace de transmisión en el que participa la estación:
 - Potencia radiada máx.: Valor de la potencia radiada máxima y su unidad (W, dBW, mW, dBm).
 - Tipo: Tipo de potencia radiada (PIRE: Potencia isotrópica radiada equivalente, PRA: Potencia radiada aparente, PRAVC: Potencia radiada aparente en vertical corta).
 - PCM: Potencia de cresta máxima y su unidad (W, dBW, mW, dBm).
 - DPM: Densidad espectral de potencia máxima y su unidad (W/Hz, dBW/Hz, mW/Hz, dBm/Hz).
9. Antena utilizada en el enlace de transmisión en el que participa la estación:
 - Id Antena: Número de identificación de la antena, según lo referido en el boletín de instalación de la estación.
 - Altura antena: Altura sobre la cota del suelo del sistema soporte de antenas en metros.
 - Polarización: Polarización de la señal transmitida a través de la antena (Horizontal, Vertical, Circular, Elíptica, Mixta).
10. Detalles del enlace de transmisión en el que participa la estación:
 - Denominación: Denominación de la emisión, conforme al formato indicado en Apéndice S1 del Reglamento de Radiocomunicaciones.
 - Subtono: Valor del subtono de apertura.
 - CCIR: Valor del código de direccionamiento de la red.
11. Detalles del vano en el que participa la estación:
 - Longitud: Longitud del vano y su unidad en metros.
 - Acimut: Orientación de la antena en grados del enlace, tomando como centro el soporte del sistema radiante.
 - Ángulo elevación: Elevación angular sobre el plano horizontal de la antena del enlace en grados sexagesimales.
12. Número de la estación, conforme a la nota 1, cuya descripción finaliza.

Certificación de niveles de exposición radioeléctrica de estaciones de radiocomunicaciones

D./D^a [REDACTED], con NIF/NIE [REDACTED], y título académico de [REDACTED], expedido por la Universidad [REDACTED], y domicilio en [REDACTED], con código postal [REDACTED] y con correo electrónico para envío de avisos de notificación [REDACTED] y, en su caso, colegiado número [REDACTED], del Colegio Oficial de [REDACTED]

CERTIFICA

1. Que está habilitado profesional y legalmente para la firma de la certificación¹.
2. Que ha realizado medidas de niveles de exposición radioeléctrica en puntos cercanos a las instalaciones correspondientes al expediente administrativo con referencia [REDACTED].
3. Que las mediciones se han realizado utilizando equipos de medida debidamente calibrados, según las especificaciones del fabricante.
4. Que ha verificado que los niveles medidos en los puntos que se muestran en el reportaje fotográfico son inferiores a los límites de exposición radioeléctrica establecidos en el Anexo II del *Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas*, aprobado por el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, cuyos resultados se presentan:
 - ☐ incorporados en un fichero XML adjunto a este certificado²,
 - ☐ relacionados en el apartado "Principales comprobaciones realizadas" (cada estación en una página independiente).
5. Que ha comprobado que las instalaciones cuentan con la señalización informativa o de advertencia a la que se refiere el artículo 57.3 del *Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico*, aprobado por el Real Decreto 123/2017, como se muestra en el correspondiente reportaje fotográfico anexo a este certificado.
6. Que ha comprobado que, en las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, existe un sistema de restricción de acceso³:
 - ☐ vallado,

¹ En caso de que la certificación venga visada por el correspondiente Colegio Oficial no es necesario incluir este punto.

² Márquese también en caso de estación de telefonía móvil, acceso inalámbrico fijo o radiodifusión.

³ Inclúyase solo en caso necesario para restringir el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a las zonas en las que pudieran superarse los límites establecidos en el Anexo II del *Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas*, aprobado por el Real Decreto 1066/2001.

☐ sistema equivalente,

y, además, incorpora la correspondiente señalización de prohibición de acceso al que se refiere el artículo 57.3 del *Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico*, aprobado por el Real Decreto 123/2017, como se muestra en el correspondiente reportaje fotográfico anexo a este certificado.

7. Que el reportaje fotográfico de los puntos de medida, la señalización y, si procede, del vallado o sistema equivalente, que aparece anexo a este certificado, corresponden a las instalaciones certificadas.

En _____, a _____

[Firmese electrónicamente]

PRINCIPALES COMPROBACIONES REALIZADAS

TELEFONÍA MÓVIL Y ACCESO INALÁMBRICO FIJO

[NOTA: El informe de medidas en Fase I, si es necesario, debe incluirse en el fichero XML]

Informe de medidas en Fase II o Fase III

[NOTA: Inclúyanse sólo en caso necesario]

Modelo 2 (Aplicable a las certificaciones de estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-2 o FASE-3).

<u>Equipo de medida utilizado.</u> Marca: Modelo: Nº Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección: <u>Antena utilizada.</u> Marca: Modelo: Longitud de cable (m):				<u>Datos de las Mediciones.</u> Nº de Estación: Nombre de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: (8) Nº total de mediciones: (*):				
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Frecuencia Medida.	Nivel de referencia. (V/m)	Nivel de referencia (A/m)	Valor medido. (V/m)	Valor medido. (A/m)	Supera el nivel 40 dB inferior al nivel de referencia. SI o NO
Distancia (m)	Acimut (º)							
(7)	(º)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

(1) Indíquese la frecuencia máxima de la señal en la banda analizada.

(2), (3) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.

(4) En las mismas unidades señaladas en (2).

(5) Sólo se debe rellenar en mediciones realizadas en campo cercano.

(6) Señálese SI o NO, según proceda.

(*), (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo.

(8) El técnico responsable es el técnico competente que realiza las mediciones.

Reportaje fotográfico

[Incorpórense un reportaje fotográfico que contenga los siguientes elementos:]

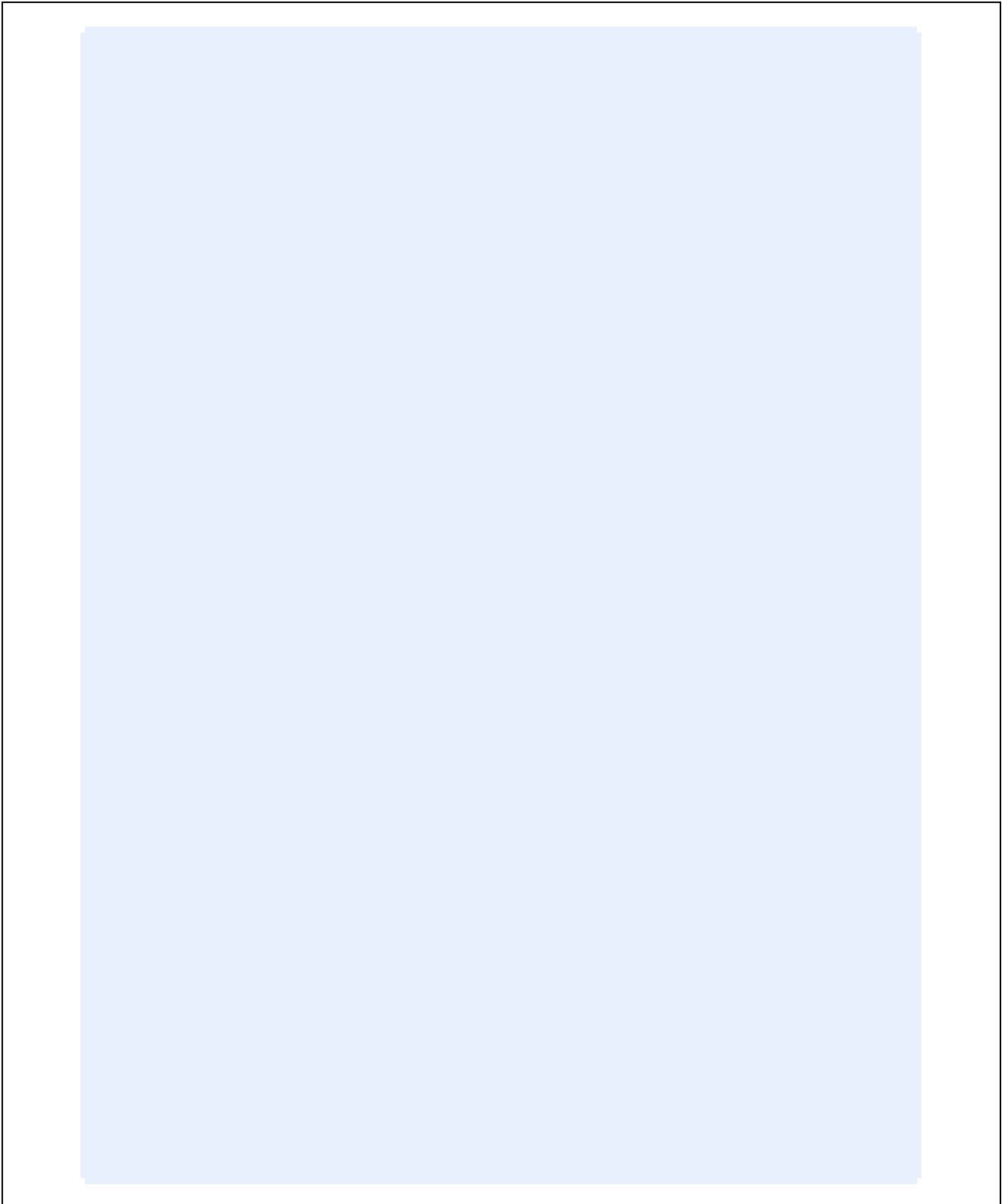
- **Puntos de medida** de niveles de exposición radioeléctrica (visualización de la estación junto con el equipo de medida en cada lugar de medición).
- **Señalización de advertencia** de estación radioeléctrica.
- **Vallado perimetral o sistema equivalente**, solo en el caso de que sea necesario restringir el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, y **señalización que prohíba el acceso** al público en general por exposición radioeléctrica no ionizante en caso de que se requiera vallado perimetral o sistema equivalente].

Descripción 1:	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción n :

[Añadir tantas filas de imágenes como sean necesarias en la tabla precedente para completar el reportaje fotográfico]

Certificado de calibración de todos los equipos de medida utilizados

[NOTA: Inclúyanse el certificado de calibración de los equipos utilizados para la medición]



RADIODIFUSIÓN

Reportaje fotográfico

[Incorpórense un reportaje fotográfico que contenga los siguientes elementos:]

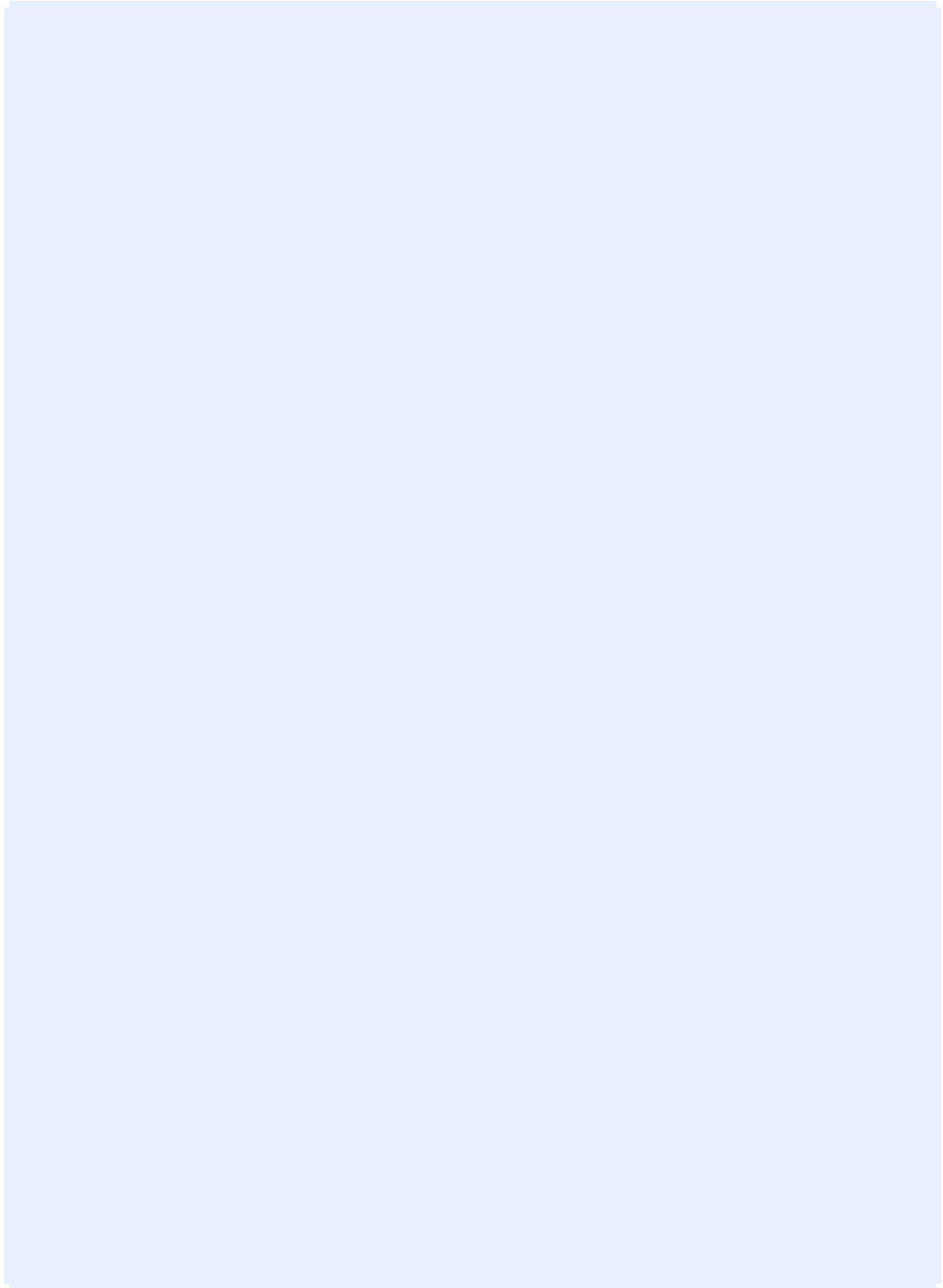
- **Puntos de medida** de niveles de exposición radioeléctrica (visualización de la estación junto con el equipo de medida en cada lugar de medición).
- **Señalización de advertencia** de estación radioeléctrica.
- **Vallado perimetral o sistema equivalente**, solo en el caso de que sea necesario restringir el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, y **señalización que prohíba el acceso** al público en general por exposición radioeléctrica no ionizante en caso de que se requiera vallado perimetral o sistema equivalente].

Descripción 1:		Descripción ... :	
Descripción ... :		Descripción n :	

[Añadir tantas filas de imágenes como sean necesarias en la tabla precedente para completar el reportaje fotográfico]

Certificado de calibración de todos los equipos de medida utilizados

[NOTA: Inclúyanse el certificado de calibración de los equipos utilizados para la medición]



OTRO TIPO DE ESTACIONES RADIOELÉCTRICAS

[Incluya todas las estaciones que se vean afectadas por el artículo 53.1 del reglamento de uso del dominio público radioeléctrico, aprobado mediante el Real Decreto 123/2017]

[Cada estación de la red debe de comenzar en una página independiente]

ESTACIÓN Nº (1) (INICIO)

Identificación de cada estación.

[NOTA: Según autorización para realizar la instalación de la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital]

Nombre estación (2):		Tipología estación (3):	
----------------------	--	-------------------------	--

Informe de Medidas en Fase I

[Inclúyanse sólo en caso necesario]

Modelo 1 (Aplicable a los estudios y las certificaciones de Estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-1).

[illegible]

Notas aclaratorias:

- (1), (2) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.
- (3), (4) Según se señala en el procedimiento para la realización de medidas.
- (5) En las unidades señaladas en (1) o en (2), si las mediciones estuviesen por debajo del umbral de detección del equipo. Señálese “<Umbral”. Para las estaciones proyectadas señálese indíquese el nivel preexistente.
- (6) Caso de resultar la diferencia negativa, deberán realizarse mediciones en FASE-2 o FASE-3.
- (*), (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo. El número de estas n_q puede ser inferior a cinco.
- (8) El técnico responsable es el técnico competente que realiza las mediciones.

Informe de medidas en Fase II o Fase III

[NOTA: Inclúyanse sólo en caso necesario]

Modelo 2 (Aplicable a las certificaciones de estaciones ya instaladas, cuyas mediciones se lleven a cabo en FASE-2 o FASE-3).

<u>Equipo de medida utilizado.</u> Marca: Modelo: Nº Serie: Fecha última calibración: Valor del umbral de detección: <u>Antena utilizada.</u> Marca: Modelo: Longitud de cable (m):				<u>Datos de las Mediciones.</u> Nº de Estación: Nombre de Estación: Fecha de realización: Técnico responsable: (8) Nº total de mediciones: (*):				
Localización del punto de medida respecto del soporte de antenas.		Hora de inicio de cada medición	Frecuencia Medida.	Nivel de referencia. (V/m)	Nivel de referencia (A/m)	Valor medido. (V/m)	Valor medido. (A/m)	Supera el nivel 40 dB inferior al nivel de referencia. SI o NO
Distancia (m)	Acimut (º)							
(7)			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

Notas aclaratorias:

- (1) Indíquese la frecuencia máxima de la señal en la banda analizada.
- (2), (3) Según R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, en función de la frecuencia.
- (4) En las mismas unidades señaladas en (2).
- (5) Sólo se debe rellenar en mediciones realizadas en campo cercano.
- (6) Señálese SI o NO, según proceda.
- (*), (7) Rellénese un registro por cada medición llevada a cabo.
- (8) El técnico responsable es el técnico competente que realiza las mediciones.

Reportaje fotográfico

[Incorpórense un reportaje fotográfico que contenga los siguientes elementos:]

- **Puntos de medida** de niveles de exposición radioeléctrica (visualización de la estación junto con el equipo de medida en cada lugar de medición).
- **Señalización de advertencia** de estación radioeléctrica.
- **Vallado perimetral o sistema equivalente**, solo en el caso de que sea necesario restringir el acceso de personal no profesional en instalación, mantenimiento o inspección de estaciones radioeléctricas a las zonas donde pudieran superarse los límites establecidos en el reglamento aprobado por el Real Decreto 1066/2001, y **señalización que prohíba el acceso** al público en general por exposición radioeléctrica no ionizante en caso de que se requiera vallado perimetral o sistema equivalente].

Descripción 1:	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción ... :
Descripción ... :	Descripción n :

[Añadir tantas filas de imágenes como sean necesarias en la tabla precedente para completar el reportaje fotográfico]

Certificado de calibración de todos los equipos de medida utilizados

[NOTA: Inclúyanse el certificado de calibración de los equipos utilizados para la medición]

----- ESTACIÓN Nº (4) : (FIN) -----

INSTRUCCIONES PARA COMPLETAR LA SECCIÓN CON LAS PRINCIPALES COMPROBACIONES REALIZADAS

- 1 Número de la estación, otorgado por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital, cuya descripción inicia.
- 2 Nombre de la estación otorgado por el titular de uso del dominio público radioeléctrico.
- 3 Tipología de la estación, según la máxima potencia radiada y el entorno de la estación (100 metros de radio alrededor de la estación), conforme a la Orden CTE/23/2002, de 11 de enero, *por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones*:

Tipología	Máxima PIRE	Entorno
ER1	$10 < \text{máx. PIRE (vatios)}$	Urbano
ER2	$1 < \text{máx. PIRE (vatios)} \leq 10$	
ER3	$10 < \text{máx. PIRE (vatios)}$	No urbano donde Sí permanecen habitualmente personas
ER4	$1 < \text{máx. PIRE (vatios)} \leq 10$	
ER5	$1 < \text{máx. PIRE (vatios)}$	No urbano y donde NO permanecen habitualmente personas
ER6	$\text{máx. PIRE (vatios)} \leq 1$	Cualquiera

- 4 Número de la estación, conforme a la nota 1, cuya descripción finaliza.

ANEXO IX

GLOSARIO, ÍNDICES Y BIBLIOGRAFÍA

33- GLOSARIO

ACCP: Adjacent Channel Common Polarization / Canales adyacentes en polarización común.

ACAP: Adjacent Channel Alternate Polarization / Canales adyacentes en polarización alterna.

ACM: Adaptive Coding and Modulation / Codificación y modulación adaptativa.

AM: Amplitude Modulation / Modulación en amplitud.

ANSI: American National Standards Institute / Instituto Nacional Estadounidense de Estándares [<https://www.ansi.org>].

ASK: Amplitude-Shift Keying / Modulación por desplazamiento de amplitud

BER: Bit Error Ratio / Tasa de error binario.

BOE: Boletín Oficial del Estado [<https://www.boe.es>].

BPSK: Binary Phase-Shift Keying / Modulación por desplazamiento de fase binaria.

CAPEX: CAPital EXpenditures / Inversiones de capital en bienes.

CCDP: Co Channel Dual Polarization / Doble polarización cocanal.

CEPT: Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications / Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones [<https://cept.org>].

CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica [<https://www.cnig.es>].

CPE: Customer Premise Equipment / Equipo Local del Cliente.

CSFP: Compact SFP / SFP Compacto.

DDP: Delivered Duty Paid / Entregado con derechos pagados.

DSB: Double-SideBand modulation / Modulación de doble banda lateral.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute / Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones [<http://www.etsi.org>].

EXW: Ex Works / En fábrica.

FDD: Frequency-Division Duplexing / Duplexación por división en frecuencia.

FM: Frequency Modulation / Modulaci3n en frecuencia.

FDM: Frequency-Division Multiplexing / Multiplexaci3n por divisi3n en frecuencia.

FSK: Frequency-Shift Keying / Modulaci3n por desplazamiento de frecuencia.

HSB: Hot StandBy / Espera en caliente.

IEC: International Electrotechnical Commision / Comisi3n Electrot3cnica Internacional (CEI) [<http://www.iec.ch>].

IDU: In-Door Unit / Equipo de interior.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers / Instituto de Ingenier3a El3ctrica y Electr3nica [<https://www.ieee.org>].

INE: Instituto Nacional de Estadística [<http://www.ine.es>].

INCOTERMS: International Commercial Terms / T3rminos internacionales de comercio.

ISP: Internet Service Provider / Proveedor de servicios de internet.

ITU: International Telecommunication Union / Uni3n internacional de Telecomunicaciones [<https://www.itu.int>].

ITU-R: ITU Radiocommunications sector / Sector de radiocomunicaciones de la ITU [<http://www.itu.int/es/ITU-R>].

LAG: Link Aggregation / Agregaci3n de enlaces

LMDS: Local Multipoint Distribution Service / Sistema de distribuci3n local multipunto.

LOS: Line Of Sight / L3nea de visi3n directa.

LTE: Long Term Evolution / Evoluci3n a largo plazo.

MC-ABC: Multi Carrier – Adaptative Bandwith Control / Multi Canal – Control de ancho de banda adaptativo

MSE: Mean Squared Error / Error cuadrático medio.

MINETAD: Ministerio de Energ3a Turismo y Agenda Digital [<http://www.minetad.gob.es>].

NBD: Next Business Day / Siguiete d3a laboral.

NGA: Next-Generation Acces / Acceso de pr3xima generaci3n.

nLOS: near Line Of Sight / Cerca de la línea de visión directa.

NLOS: Non Line Of Sight / Sin línea de visión directa.

ODU: Out-Door Unit / Equipo de exterior.

OMT: OrthoMode Transducer / Tranductor ortomodal.

OPEX: Operating Expense / Gastos de operación.

PoE: Power over Ethernet / Alimentación a través de Ethernet.

PSK: Phase-Shift Keying / Modulación por desplazamiento de fase.

PtP: Point to Point / Punto a punto.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation / modulación de amplitud en cuadratura.

QoS: Quality of Service / Calidad de servicio.

QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying / Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

SESIAD: Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y Agenda Digital [<http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones>].

SF: Servicio Fijo.

SFP: Small Form-factor Pluggable transceptor / Transceptor de factor de forma pequeño conectable.

SFP BiDi: SFP Bi-Directional / SFP bidireccional.

SFS: Servicio Fijo por Satélite.

SLA: Service Level Agreement / Acuerdo a nivel de servicios.

SSH: Secure Shell / Intérprete de órdenes seguro.

STBC: Space–Time Block Coding / Codificación espacio-temporal por bloques.

STC: Space–Time Coding / Codificación espacio-temporal.

STTC: Space–Time Trellis Coding / Codificación espacio-temporal por código Trellis.

TCP: Transmission Control Protocol / Protocolo de control de transmisión.

TDD: Time-Division Duplexing / Duplexación por división temporal.

WDM: Wavelength Division Multiplexing / multiplexación por división de longitud de onda.

WI-FI: Wireless Fidelity / Fidelidad inalámbrica.

XPIC: Cross Polarization Interference Cancellation / Cancelador de interferencias de polarización cruzada.

34- ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Wikipedia. (2017). Espectro electromagnético. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnético

FIGURA 2.2: MAPA MUNDIAL CON DIVISIÓN DE REGIONES ITU

Kelly Kinkade. (2009). Thinking regionally. Recuperado de: <http://nonbovine-ruminations.blogspot.com.es/2009/10/thinking-regionally.html>

FIGURA 2.3: IP20-E, ODU FULL-INDOOR PARA LA BANDA E DEL FABRICANTE CERAGON.

Ceragon. (2015). FibeAir IP-20E Technical Description. CeraOS release: 8.2. Document Revision A.

FIGURA 2.4: ANTENA DE PANEL PLANO PARA ODU IP20-E

Ceragon. (2017). Products presentation

FIGURA 2.5: PORTADA DEL SOFTWARE GENXML.

Obtenida con Servicio Fijo GenXML. v2.5.1.0.

FIGURA 2.6: LIGO PTP 5-23, ODU FULL-OUTDOOR EN BANDA LIBRE DE 5GHZ CON ANTENA INCORPORADA DE 23DB DE GANANCIA.

LigWave. (2016). LigoPT PRO Datasheet.

FIGURA 4.1: ESQUEMA DE LA RED.

Propia.

FIGURA 4.2: IMAGEN SATELITAL DE LA RED DE AGREGACIÓN

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.3: ESQUEMA DE LA RED DE AGREGACIÓN A INSTALAR.

Propia

FIGURA 4.4: EMPLAZAMIENTO DE TORRATER.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.5: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE TORRATER.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.6: EMPLAZAMIENTO DE BENISSUERA.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.7: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE BENISSUERA.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.8: EMPLAZAMIENTO DE BENIGNÀNIM PAS FORCALL.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.9: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE BENIGÀNIM PAS FORCALL.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.10: EMPLAZAMIENTO DE QUATRETONDA.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.11: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE QUATRETONDA.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.12: EMPLAZAMIENTO DE LLUTXENT.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 4.13: TORRE DE TELECOMUNICACIONES DE LLUTXENT.

Obtenida con Google Earth Pro. Versión 7.3.0. (2017).

FIGURA 5.1: RADIOENLACE PUNTO A PUNTO PARA EL SERVICIO FIJO DE BANDA ANCHA.

*E-Global Smart Communications. (2017). Recuperada de:
<http://smartcomm.mx/redes.html>*

FIGURA 5.2: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENIGANIM PAS FORCALL @ 26GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.3: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 6.4-7.1GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.4: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 18GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.5: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA BENISSUERA @ 26GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.6: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA LLUTXENT @ 18GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.7: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA QUATRETONDA @ 18GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.8: RESULTADO DE SEMIBANDA PARA QUATRETONDA @ 18GHZ.

Obtenida con IdeSemibanda. Version 3.0. (2017).

FIGURA 5.9: ESQUEMA DE TRANSMISIONES DE LA RED.

Propia.

FIGURA 5.10: ODU FULL-OUTDOOR IP20-S DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 5.11: ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 5.12: ANTENA DE LA FAMILIA COMPACT LINE EASY DE RFS.

RFS. (2017). RFS Microwave Antennas Portfolio. A Comprehensive Selection Guide. Edition 2.

FIGURA 5.13: PUERTOS DE LAS ODUS IP20-S E IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 5.14: MONTAJE DIRECT-MOUNT PARA ODU IP20-S.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 5.15: MONTAJE DIRECT-MOUNT DUAL-POLARIZATION PARA ODU IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 5.16: MONTAJE HSB DIRECT-MOUNT DUAL-POLARIZATION PARA ODU IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 5.17: MAPA OROGRÁFICO DE LA RED.

Obtenida con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 5.18: PERFIL DEL VANO BENISSUERA – BENIGÀNIM PAS FORCALL.

Obtenida con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 5.19: PERFIL DEL VANO BENIGÀNIM PAS FORCALL - QUATRETONDA.

Obtenida con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 5.20: PERFIL DEL VANO BENISSUERA - LLUTXENT.

Obtenida con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 5.21: PERFIL DEL VANO TORRATER - BENISSUERA.

Obtenida con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 10.1: POSTES DE TELECOMUNICACIONES CAMUFLADOS COMO ÁRBOLES.

Joan Carles López. (2012). Antenas de telefonía móvil camufladas. Recuperado de:

<https://radiaciones.wordpress.com/2012/08/25/antenas-de-telefonía-móvil-camufladas/>

FIGURA 12.1: IDU IP20-G DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20G Installation Guide. Rev. E.04.

FIGURA 12.2: ODU RFU-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2011). FibeAir RFU-C Product Description.

FIGURA 12.3: ODU FULL-OUTDOOR IP20-S DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 12.4: ODU FULL-OUTDOOR IP20-C DE LA FAMILIA FIBEAIR 2000 DE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 12.5: ANTENA RACOM PARA RADIENTES PUNTO A PUNTO DE MICROONDAS.

Racom. (2017). Portfolio. Recuperado de:

<http://www.racom.eu/es/products/microwave-link.html>

FIGURA 12.6: HERRAJE.

RFS. (2014). SB1-SBX1 Packing.

FIGURA 12.7: FEED O ILUMINADOR.

RFS. (2014). SB-SBX 4-6 Feed installation.

FIGURA 12.8: INTERFAZ.

RFS. (2014). SB1-SBX1 Mount.

FIGURA 12.9: REFLECTOR DE ANTENA PARABÓLICA.

RFS. (2014). SB1-SBX1 Mount.

FIGURA 12.10: DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA DE 12.46DB DE GANANCIA Y 50DEG. DE APERTURA DE HAZ.

3Cu Electrónica (2017). Antenas. Recuperado de:

<https://sites.google.com/site/3cuelelectronica/home/radio-enlaces-1/antenas?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

FIGURA 12.11: OMT PARA ODU RFU-C [IZQUIERDA] Y OMT PARA ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C [DERECHA].

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Installation Guide. Rev D.05.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 12.12: SPLITTER DUAL PARA ODU FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 12.13: COUPLER PARA ODUS RFU-C [IZQUIERDA] Y COUPLER DUAL PARA ODUS FULL-OUTDOOR DUAL-CORE IP20-C [DERECHA].

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Installation Guide. Rev D.05.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 12.14: PoE CERAGON.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 12.15: LIMITACIONES EN LA LONGITUD DE LOS CABLES DEBIDO AL USO DE PoE.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

FIGURA 12.16: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS SFP.

Cables Solutions. (2017). Differences Between SFP, BiDi SFP and Compact SFP. Recuperado de:

<http://www.cables-solutions.com/differences-between-sfp-bidi-sfp-and-compact-sfp.html>

FIGURA 12.17: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS SFP BiDi.

Cables Solutions. (2017). Differences Between SFP, BiDi SFP and Compact SFP. Recuperado de:

<http://www.cables-solutions.com/differences-between-sfp-bidi-sfp-and-compact-sfp.html>

FIGURA 12.18: CONEXIÓN ENTRE TRANSCEIVERS CSFP Y SFP BIDI.

Cables Solutions. (2017). Differences Between SFP, BiDi SFP and Compact SFP. Recuperado de:

<http://www.cables-solutions.com/differences-between-sfp-bidi-sfp-and-compact-sfp.html>

FIGURA 12.19: MUESTRAS DE GUIAONDAS.

Direct Industry. (2017). Portfolio de guiaondas. Recuperado de:

<http://www.directindustry.es/prod/pasternack-enterprises-inc/product-18635-1714699.html>

FIGURA 13.1: INSTALACIÓN FULL-INDOOR.

Toni Martinez. (2012). Radioenlaces microondas en banda licenciada, ¿por dónde empezar? Recuperado de:

<http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html/>

FIGURA 13.2: INSTALACIÓN SPLIT-MOUNT.

Toni Martinez. (2012). Radioenlaces microondas en banda licenciada, ¿por dónde empezar? Recuperado de:

<http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html/>

FIGURA 13.3: INSTALACIÓN FULL-OUTDOOR.

Toni Martinez. (2012). Radioenlaces microondas en banda licenciada, ¿por dónde empezar? Recuperado de:
<http://www.telequismo.com/2012/07/radioenlaces-microondas-en-banda.html/>

FIGURA 17.1: INSTALACIÓN FULL-OUTDOOR.

Física2Renedo. (2017). Síntesis electromagnética. Recuperado de:
<https://sites.google.com/site/fisica2palacios/magnetismo/sintesis-electromagnetica>

FIGURA 17.2: FORMA DISEÑADA POR EL VECTOR CAMPO ELÉCTRICO EN LA PROPAGACIÓN DE ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

Cristina Rodriguez. (2015). Aplicación de telecomunicaciones. Recuperado de:
<http://aplicacion-de-telecomunicacion.blogspot.com.es>

FIGURA 17.3: TIPOS DE POLARIZACIÓN EN FUNCION DEL DESFASE ENTRE COORDENADAS.

Diego Luis Aristizábal R. LudiFísica. (2006). Lección de Oscilaciones. Recuperado de:
http://ludifisica.medellin.unal.edu.co/recursos/lecciones/leccion_oscilaciones/concepto/index22.htm

FIGURA 18.1: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MODULACIONES.

EcuRed. (2017). Modulación. Recuperado de:
<https://www.ecured.cu/Modulaci%C3%B3n>

FIGURA 18.2: EJEMPLO DE MODULACIONES ASK, FSK Y PSK.

Wikibooks. (2016). Planificación y Administración de Redes. Recuperado de:
https://es.wikibooks.org/wiki/Planificación_y_Administración_de_Redres/Tema_3/Datos_y_codificaciones

FIGURA 18.3: DIAGRAMAS DE CONSTELACIÓN DE LAS MODULACIONES BPSK, QPSK Y 8-PSK.

Wikipedia. (2017). Modulación por desplazamiento de fase. Recuperado de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_fase

FIGURA 18.4: DIAGRAMAS DE CONSTELACIÓN DE LAS MODULACIONES 4QAM, 16QAM Y 64QAM.

SRTV. (2012). Sistemas de radio digital. Recuperado de:
<https://srtv-2011-2012.wikispaces.com/4.7+Sistemas+de+radio+digital>

FIGURA 18.5: EJEMPLO DE MODULACIÓN ADAPTATIVA.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 19.1: DISPONIBILIDADES EN UN RADIOENLACE EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA DE RECEPCIÓN.

Radioenlaces. Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces. (2017). Indisponibilidad de un radioenlace. Recuperado de:
<http://www.radioenlaces.es/articulos/indisponibilidad-de-un-radioenlace>

FIGURA 20.1: EFECTOS DE LA DIFRACCIÓN.

Atridmolina19. (2015). Propagación, reflexión, difracción y refracción. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/atridmolina19/propagacin-reflexin-difraccin-y-refraccin-4-46072023>

FIGURA 20.2: CONVERSIÓN DE LOS PUNTOS DEL FRENTE DE ONDAS EN LOS ORIFICIOS EN NUEVOS FOCOS EMISORES.

Ondas Galeón. (2017). Principio de Huygens. Recuperado de:
<http://ondas.galeon.com/enlaces2685337.html>

FIGURA 20.3: EJEMPLO DE ESCENARIO EN EL QUE A PESAR DE HABER LINEA DE VISIÓN DIRECTA, HAY PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS POR CAUSA DE LA DIFRACCIÓN.

EA7JZZ. Un espacio dedicado a la radiocomunicación. (2017). Conceptos básicos de telecomunicaciones. Recuperado de:
<http://ea7jzz.es/index.php/2016/07/19/conceptos-basicos-de-telecomunicaciones>

FIGURA 20.4: PRIMERA ZONA DE FRESNEL Y PARÁMETROS PARA SU CÁLCULO.

Wikipedia. (2017). Zonas de Fresnel. Recuperado de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel

FIGURA 20.5: ESCENARIO CON LINE OF SIGHT.

L-Com. (2017). Line of sight. Recuperado de:
<http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=L&ID=10060>

FIGURA 20.6: ESCENARIO CON NEAR LINE OF SIGHT.

L-Com. (2017). Line of sight. Recuperado de:
<http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=L&ID=10060>

FIGURA 20.7: ESCENARIO CON NON LINE OF SIGHT.

L-Com. (2017). Line of sight. Recuperado de:
<http://www.l-com.com/content/Article.aspx?Type=L&ID=10060>

FIGURA 20.8: GRÁFICA DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULOS EN FUNCIÓN DEL DESPEJE EN LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL.

ITU-R. (2009). Recomendación ITU-R P.530-13. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.

FIGURA 20.9: PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN ESCENARIO NEAR LINE OF SIGHT CON ÚNICO OBSTÁCULO EN ARISTA EN FILO DE CUCHILLO.

ITU-R. (2013). Recomendación ITU-R P.526-13. Propagación por difracción.

FIGURA 20.10: PARÁMETRO GEÓMETRICOS EN ESCENARIO NON LINE OF SIGHT CON ÚNICO OBSTÁCULO EN ARISTA EN FILO DE CUCHILLO.

ITU-R. (2013). Recomendación ITU-R P.526-13. Propagación por difracción.

FIGURA 20.11: GRÁFICA DE PÉRDIDAS POR OBSTÁCULO ÚNICO EN ARISTA EN FILO DE COCHILO EN FUNCIÓN DEL PARÁMETRO v .

ITU-R. (2013). Recomendación ITU-R P.526-13. Propagación por difracción.

FIGURA 20.12: PARÁMETRO GEÓMETRICOS DEL OBSTÁCULO ÚNICO DE FORMA REDONDEADA.

ITU-R. (2013). Recomendación ITU-R P.526-13. Propagación por difracción.

FIGURA 20.13: HERRAMIENTA DE DISEÑO PATHLOSS MOSTRANDO EL PERFIL DEL VANO TENIENDO EN CUENTA LA CURVATURA TERRESTRE, LA LINEA DE VISIÓN DIRECTA, LA PRIMERA ZONA DE FRESNEL Y CALCULA LA ALTURA DE LAS ANTENAS PARA UN ESCENARIO LOS.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 20.14: RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE TIERRA FICTICIA.

Radioenlaces. Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces. (2017).

Corrección de la altura de los obstáculos. Recuperado de:

<http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos>

FIGURA 20.15: CORRECCIÓN DE LA ALTURA DEL PERFIL DEL VANO MEDIANTE EL MÉTODO FLECHA.

Radioenlaces. Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces. (2017).

Corrección de la altura de los obstáculos. Recuperado de:

<http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos>

FIGURA 20.16: SEGUNDA CORRECCIÓN DE LA ALTURA EN LOS PUNTOS MÁS ELEVADOS.

Radioenlaces. Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces. (2017).

Corrección de la altura de los obstáculos. Recuperado de:

<http://www.radioenlaces.es/articulos/correccion-de-la-altura-de-los-obstaculos>

FIGURA 20.17: PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS EN LOS DIFERENTES TIPOS DE TROPOSFERAS.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

FIGURA 21.1: TRANSMISIÓN CON MULTITRAYECTO

Albentia. (2013). Modulación OFDM. Recuperado de:

<https://albentia.wordpress.com/2013/09/05/modulacion-ofdm-wimax-madrid>

FIGURA 21.2: REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN DE UN HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

FisicaLab. (2017). Reflexión y refracción de la luz. Recuperado de:

<https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-luz#contenidos>

FIGURA 21.3: REPRESENTACIÓN DE LA CURVATURA SUFRIDA POR EL HAZ AL ELEVARSE DENTRO DE LA TROPOSFERA

Jorge Humberto Olivares Vázquez. (2017). Propagación en la Banda de HF.

Recuperado de:

http://qsl.net/xe2pna/html_files/propagacion_en_banda_hf.html

FIGURA 21.4: REFLEXIÓN SUFRIDA POR EL HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

E-Ducativa. (2017). Reflexión de la luz. Recuperado de:

<http://e->

educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3236/html/3_reflexin_de_la_luz.html

FIGURA 21.5: EJEMPLOS DE REFLEXIÓN ESPECULAR Y DIFUSA.

EducaMadrid. (2017). Ondas electromagnéticas. Recuperado de:

<http://www.educa.madrid.org/web/ies.alonsoquijano.alcala/carpeta5/carpetas/quienes/departamentos/ccnn/CCNN-1-2-ESO/2eso-FyQ-2016-17/Tema-07-Energia-termica/Tema-07-Energia-termica.html#6>

FIGURA 21.6: PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL PUNTO DE REFLEXIÓN.

Francisco Ramos Pascual. (2015). Radiocomunicaciones.

FIGURA 21.7: REFRACCIÓN SUFRIDA POR EL HAZ DE ONDAS AL CAMBIAR DE MEDIO.

Wikipedia. (2017). Refracción. Recuperado de:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Refracci%C3%B3n>

FIGURA 21.8: APANTALLAMIENTO DE ANTENA QUE EVITA LAS PROPAGACIONES MULTITRAYECTO

ITU-R. (2009). Recomendación ITU-R P.530-13. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa

FIGURA 22.1: VALORES DE k EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN VERTICAL.

ITU-R. (2005). Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.

FIGURA 22.2: VALORES DE k EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

ITU-R. (2005). Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.

FIGURA 22.3: VALORES DE α EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN VERTICAL.

ITU-R. (2005). *Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.*

FIGURA 22.4: VALOR DE α EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA PARA POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

ITU-R. (2005). *Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.*

FIGURA 22.5: MAPA DE EUROPA CON DIVISIÓN DE ZONAS HIDROMETEOROLÓGICAS.

ITU-R. (1994). *Recomendación ITU-R P.837-1. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.*

FIGURA 22.6: RELACIÓN ENTRE DISTANCIA EFECTIVA Y REAL EN LAS ZONAS HIDROMETEOROLÓGICAS K Y H.

Radioenlaces. *Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces.* (2017). *Cálculo de la atenuación por lluvia en un radioenlaces.* Recuperado de: <http://www.radioenlaces.es/articulos/calculo-de-la-atenuacion-por-lluvia-en-un-radioenlace>

FIGURA 23.1: VALORES DE γ_o , γ_w , Y γ_a EN LA TROPOSFERA.

ITU-R. (1994). *Recomendación ITU-R P.676-5. Atenuación debida a los gases atmosféricos.*

FIGURA 23.2: AUMENTO DEL ÁREA DEL FRENTE DE ONDAS Y SU CONSIGUIENTE PÉRDIDA DE INTENSIDAD.

Wikipedia. (2017). *Ley de la inversa del cuadrado.* Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_la_inversa_del_cuadrado

FIGURA 24.1: VALOR DE γ EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA.

ITU-R. (2003). *Recomendación ITU-R P.833-4. Atenuación debida a la vegetación.*

FIGURA 25.1: EFECTOS DE INTERFERENCIAS CONSTRUCTIVAS (IZQDA) Y DESTRUCTIVAS (DCHA).

La ciencia que me gusta. (2003). *Interferencia destructiva.* Recuperado de: <https://lacienciaquemegusta.wordpress.com/2013/10/29/problemas-de-fisica-sonido-sonido-silencio>

FIGURA 27.1: TRANSMISIÓN EN DOBLE POLARIZACIÓN.

Angel. BBits. (2017). *Radioenlaces. ¿En qué consiste la técnica XPIC?* Recuperado de: <https://borrowbits.com/2016/05/radioenlaces-en-que-consiste-la-tecnica-xpic>

FIGURA 27.2: FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO XPIC.

Ceragon. (2017). *IP-20N Advanced training course.*

FIGURA 27.3: ESQUEMA PARA UNA TRANSMISIÓN EN DOBLE POLARIZACIÓN.

Angel. BBits. (2017). Radioenlaces. ¿En qué consiste la técnica XPIC?

Recuperado de:

<https://borrowbits.com/2016/05/radioenlaces-en-que-consiste-la-tecnica-xpic>

FIGURA 27.4: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN CCDP.

Allenyu. (2016). PTP820 2+0 Configuration. Recuperado de:

<http://community.cambiumnetworks.com/t5/Licensed-Microwave/PTP820-2-0-Configuration/td-p/51536>

MAGEN 27.5: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN ACAP.

Allenyu. (2016). PTP820 2+0 Configuration. Recuperado de:

<http://community.cambiumnetworks.com/t5/Licensed-Microwave/PTP820-2-0-Configuration/td-p/51536>

FIGURA 28.1: TRANSMISIÓN CON DIVERSIDAD DE FRECUENCIA.

Red Tauros. (2017). Radioenlaces terrestres de microondas. Recuperado de:

http://www.redtauros.com/Clases/Telecomunicaciones_I/17_Radioenlaces_Terrestres_Microondas_.pdf

FIGURA 28.2: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN ACCP.

Allenyu. (2016). PTP820 2+0 Configuration. Recuperado de:

<http://community.cambiumnetworks.com/t5/Licensed-Microwave/PTP820-2-0-Configuration/td-p/51536>

FIGURA 29.1: TIPOS DE SISTEMAS QUE APLICAN DIVERSIDAD ESPACIAL.

Teletopix. (2014). LTE MIMO Types of inputs and outputs. Recuperado de:

<http://www.teletopix.org/4g-lte/lte-mimo-4g-lte/lte-mimo-types-of-inputs-and-outputs>

FIGURA 29.2: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR SELECCIÓN.

José Javier Anguís Horno. (2008). Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College

FIGURA 29.3: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR CONMUTACIÓN.

José Javier Anguís Horno. (2008). Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College

FIGURA 29.4: ESQUEMA PARA REDUNDANCIA POR CONMUTACIÓN.

José Javier Anguís Horno. (2008). Redes de Área Local Inalámbricas: Diseño de la WLAN de Wheelers Lane Technology College

FIGURA 29.5: ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DE UN SISTEMA MIMO (2x2).

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 29.6: GRÁFICA DE DISTANCIAS ÓPTIMAS ENTRE ANTENAS EN SISTEMAS MIMO (2x2)

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 29.7: GRÁFICA DE CAPACIDAD DE UNN SISTEMAS MIMO (2x2) SEGÚN LA DISTANCIA ENTRE ANTENAS

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

FIGURA 29.8: TRANSMISIÓN MIMO (2x2) CON DOBLE POLARIZACIÓN.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

35- ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: TABLA DE VALORES DE LOS COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE LA TASA ANUAL POR LA OBTENCIÓN DE LA TITULARIDAD DE LOS DERECHOS DE USO DE UN CANAL PARA PRESTACIONES A TERCEROS.

BOE número 153 de 28 de junio de 2017.

TABLA 4.1: TRÁFICO GENERADO EN CADA EMPLAZAMIENTO.

Propia.

TABLA 4.2: CAPACIDAD MÍNIMA REQUERIDA POR CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.1: CONFIGURACIÓN DE LOS RADIOENLACES.

Propia.

TABLA 5.2: TÉCNICAS DE DIVERSIDAD EMPLEADAS SOBRE LOS RADIOENLACES.

Propia.

TABLA 5.3: TIPOS DE PROTECCIÓN FRENTE AVERÍAS EMPLEADOS.

Propia.

TABLA 5.4: CANALIZACIÓN Y MODULACIÓN EMPLEADA EN CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.5: BANDA DE TRABAJO DE CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.6: SEMIBANDAS DISPONIBLES PARA CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.7: CANALES DE TRANSMISIÓN PROPUESTOS PARA CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.8: SELECCIÓN DE ODUS PARA CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.9: SELECCIÓN DE ANTENAS PARA CADA RADIOENLACE.

Propia.

TABLA 5.10: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENISSUERA – BENIGNÀIM PAS FORCALL.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

TABLA 5.11: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENIGÀNIM PAS FORCALL – QUATRETONDA.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

TABLA 5.12: CÁLCULO DEL RADIOENLACE BENISSUERA - LLUTXENT.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

TABLA 5.13: CÁLCULO DEL RADIOENLACE TORRATER - BENISSUERA.

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

TABLA 5.14: CÁLCULO DEL RADIOENLACE TORRATER – BENISSUERA (SECOND PATH).

Obtenido con Pathloss. Version 5.0. (2017).

TABLA 8.1: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LOS RADIOENLACES.

Propia.

TABLA 21.1: VALORES TÍPICOS DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

Propia.

TABLA 22.1: VALORES DE LOS PARÁMETROS k Y α .

Propia.

TABLA 22.2: VALORES DE R EN ESPAÑA.

Propia.

36- BIBLIOGRAFÍA

RADIOCOMUNICACIONES.

Franciso Ramos Pacual. (2013). Radiocomunicaciones.

RADIOENLACES DIGITALES

José Manuel Alborno. (2013). Radioenlaces digitales – Primera parte.

ESTUDIO Y DISEÑO DE UN RADIOENLACE PARA TRANSMISIÓN DE DATOS, E INTERNET EN FRECUENCIA LIBRE PARA LA COOPERATIVA INDÍGENA “ALFA Y OMEGA” UTILIZANDO EQUIPOS AIRMAX DE UBIQUITI.

Pablo Andrés Vela Remache. (2015). Proyecto fin de carrera.

REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS: DISEÑO DE LA WLAN DE WHEELERS LANE TECHNOLOGY COLLEGE.

José Javier Anguís Horno. (2008). Proyecto fin de carrera.

DISEÑO DE UN RADIOENLACE DE SERVICIO FIJO DE BANDA ANCHA ENTRE LAS CIUDADES DE SEVILLA Y CÓRDOBA.

José Carlos Aradillas Jaramillo. (2015). Proyecto fin de carrera.

RADIOENLACES MICROONDAS EN BANDA LICENCIADA, ¿POR DÓNDE EMPEZAR?

Toni Martinez. (2012). Radioenlaces microondas en banda licenciada, ¿por dónde empezar?

TECNOLOGÍA MIMO.

Albentia Systems. (2017). ALB-W017-000es-MIMO.

DIFFERENCES BETWEEN SFP, BIDI SFP AND COMPACT SFP.

Cables Solutions. (2017). Differences Between SFP, BiDi SFP and Compact SFP.

EXPERIENCING INTERFERENCE WITH YOUR 5GHZ SERVICE?

Andrew Westerman. (2016). Experiencing Interference with your 5GHz Service? Versión para España y Portugal de Sergio García.

MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL.

www.minetad.gob.es

SECRETARÍA DE ESTADO PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y AGENDA DIGITAL

<http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Paginas/index.aspx>

NOTAS UN

SESIAD. (2017). Notas UN. CNAF 2017.

BANDAS Y CANALIZACIONES DISPONIBLES EN EL SERVICIO FIJO DE BANDA ANCHA

SESIAD. (2017). Notas UN. CNAF 2017. Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de banda ancha. Versión 18.0.

DATASHEET IP20-C.

Ceragon. (2017). Datasheet FibeAir IP-20C. ETSI Version. Rev. A.04.

DATASHEET IP20-S.

Ceragon. (2017). Datasheet FibeAir IP-20C. ETSI Version. Rev. A.04.

DATASHEET IP20-E.

Ceragon. (2017). Datasheet FibeAir IP-20E. ETSI Version. Release 8.3.0.0.1. Rev. A.

PRODUCT DESCRIPTION IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

PRODUCT DESCRIPTION IP20-S.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.02.

PRODUCT DESCRIPTION IP20-G.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20G Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.01.

PRODUCT DESCRIPTION IP20-E.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20E-R2 Technical Description. CeraOS release: 9.2 (ETSI). Document Revision A.

PRODUCT DESCRIPTION RFU-C.

Ceragon. (2011). FibeAir RFU-C Product Description.

INSTALLATION GUIDE IP20-C.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20C Installation Guide. Rev D.05.

INSTALLATION GUIDE IP20-S.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Installation Guide. Rev D.05.

INSTALLATION GUIDE IP20-G.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20S Installation Guide. Rev E.04.

INSTALLATION GUIDE IP20-E.

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20E-R1 Installation Guide. Rev C01.

ROADMAP CERAGON

Ceragon. (2017). FibeAir IP-20 Platform Roadmap.

WWW.RADIOENLACES.ES

Tecnologías inalámbricas y diseños de radioenlaces.

RECOMENDACIÓN ITU-R P.530-13

ITU-R. (2009). *Recomendación ITU-R P.530-13. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.530-8

ITU-R. (1999). *Recomendación ITU-R P.530-8. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.837-5

ITU-R. (2007). *Recomendación ITU-R P.837-5. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.837-1

ITU-R. (1994). *Recomendación ITU-R P.837-1. Características de la precipitación para establecer modelos de propagación.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.526-11

ITU-R. (2009). *Recomendación ITU-R P.526-11. Propagación de ondasradioeléctricas.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.526-13

ITU-R. (2013). *Recomendación ITU-R P.526-13. Propagación de ondasradioeléctricas.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.453-7

ITU-R. (1999). *Recomendación ITU-R P.453-7. Índice de refracción radioeléctrica: Su fórmula y datos sobre refractividad.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.840-6

ITU-R. (2013). *Recomendación ITU-R P.840-6. Atenuación debida a las nubes y a la niebla.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.838-3

ITU-R. (2005). *Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.676-5

ITU-R. (1994). *Recomendación ITU-R P.676-5. Atenuación debida a los gases atmosféricos.*

RECOMENDACIÓN ITU-R P.833-4

ITU-R. (2003). *Recomendación ITU-R P.833-4. Atenuación debida a la vegetación.*

RECOMENDACIÓN ITU-R S.741-2

ITU-R. (1994). Recomendación ITU-R S.741-2. Cálculo de la relación portadora/interferencia entre redes del Servicio Fijo por Satélite.